



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

**AA6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ
YAŞLANDIRMA İŞLEMİNE BAĞLI OLARAK
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Ash ONUR

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr. Birol AKYÜZ

BİLECİK, 2014

Ref. No:10044249



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

**AA6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ
YAŞLANDIRMA İŞLEMİNE BAĞLI OLARAK
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Ash ONUR

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Birol AKYÜZ

BİLECİK, 2014



BİLECİK SEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Sciences

Mechanical and Manufacturing Engineering

**INVESTIGATION OF MACHINABILITY DEPENDING ON
AGING PROCESS OF AA6XXX SERIES ALUMINUM
ALLOYS**

Ash ONUR

Master's Thesis

Thesis Adviser

Assist. Prof. Dr. Birol AKYÜZ

BİLECİK, 2014

 <p>BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ</p> <p>BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI</p>	<p>YÜKSEK LİSANS</p> <p>JÜRİ ONAY FORMU</p>
---	---

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..02.06.2014..... tarih ve ...24-2..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..17.06.2014..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan Aslı ONUR ' un "AA6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Yaşlandırma İşlemine Bağlı Olarak İşlenebilirliğinin İncelenmesi" başlıklı tez çalışması Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YUKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Birol AKYÜZ

ÜYE : Prof.Dr.Şennur CANDAN

ÜYE : Yrd.Doç.Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ

(Handwritten signatures of Birol Akyüz, Şennur Candan, and Ahmet Fevzi Savaş)

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarından dolayı danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Birol Akyüz'e, destek ve yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr. Harun Mindivan'a teőekkürü borç bilirim.

Beni bu günlere getirip; sevgi, sabır ve emek veren sevgili annem Sevim Öztürk'e ve babam Murat Öztürk'e sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam için sponsor olup beni hep destekleyen eşim Özcan Onur'a; deneysel çalışmalarım sırasında minik kızım Güneş'e bakan sevgili kayınvalidem Ayten Onur'a da çok teşekkür ederim.

Aslı ONUR

Bilecik, 2014

ÖZET

Bu çalışmada, AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin alaşımın mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, deneyde kullanılan AA6082 ve AA6013 alüminyum alaşımı numuneler 520°C'de ısıtılma işlemi fırınında (8 saat) çözeltiye (solüsyona) alma işleminden sonra sıcak suya atılmış (75°C'de) daha sonra ısıtılma işlemi fırınında (180°C'de) farklı sürelerde (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 saat) bekletilerek suni yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir. Yaşlandırma işlemi sonunda her iki alaşımın mekanik özelliklerinde artış gözlenmiştir. Yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak alaşımların işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Alüminyum alaşımlarında 6 saat yaşlandırma işlemi sonunda yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Alaşımlarda, 6 saat yaşlandırma süresi sonunda elde edilen mekanik özellikler ve işlenebilirlik özellikleri ile 24 saat sonunda ulaşılan değerler arasında önemli bir artış gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler:İşlenebilirlik, Yaşlandırma, AA6013 ve AA6082 Alüminyum Alaşımları, Mekanik özellikler

ABSTRACT

This study investigated the effects of aging process on the mechanical properties and machinability in AA6013 and AA6082 aluminum alloys. To this end, AA6013 and AA6082 aluminum alloy samples were maintained in heat treatment furnace at 520°C (for 8 hours) and placed in hot water (at 75°C), and then subjected to aging process by storing in heat treatment furnace (at 180°C) for different times (1, 3, 6, 9, 12 and 24 hours). Changes in the mechanical properties and machinability properties of samples that underwent aging process were investigated. At the end of the aging process, an increase was observed in mechanical properties of aluminum alloys. Depending on the increase in aging time, a rise was found in cutting forces occurred during the machining of alloy. High mechanical properties were obtained at the end of the 6-hour aging process in aluminum alloys. Mechanical and machinability properties obtained at the end of 6-hour aging are similar to those obtained at the end of 24 hours.

Keywords: Machining, Aging, AA6013 AA6082 Aluminum Alloys, Mechanical Properties

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI

TEŞEKKÜR

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii

1.GİRİŞ.....1

2.ALÜMİNYUM2

2.1. Alüminyumun Tarihçesi.....	2
2.2. Alüminyumun Özellikleri.....	2
2.3. Alüminyumun Alaşımları.....	5
2.3.1. Alüminyumun Mekanik İşlem Alaşımları.....	6
2.3.2. Alüminyumun Döküm Alaşımları.....	7
2.3.3. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi.....	8
2.3.3.1. Bakırın Etkisi.....	8
2.3.3.2. Silisyumun Etkisi.....	8
2.3.3.3. Magnezyumun Etkisi.....	8
2.3.3.4. Demirin Etkisi.....	9
2.3.3.5. Çinkonun Etkisi.....	9
2.3.3.6. Mangenezin Etkisi.....	9
2.3.3.7. Nikelin Etkisi.....	9
2.3.3.8. Geçiş Metallerinin Etkisi.....	10
2.4. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlemler.....	10
2.5. Alüminyum Alaşımlarının İşlenebilirliği.....	11
2.6. Alüminyum ve Al Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	13

3. YAŞLANDIRMA İŞLEMİ.....17

3.1. Yaşlandırma.....	20
3.1.1. Çözeltiye Alma	21
3.1.2. Su Verme	23
3.1.3. Yaşlandırma (Çökeltme)	25

4.TALAŞLI ÜRETİM.....28

4.1. Talaş Kaldırılmasını Etkileyen Faktörler	29
---	----

4.1.1. Takım Geometrisi	29
4.1.2. Kesme Hızı	30
4.1.3. Kesme Kuvveti.....	30
4.1.4. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı	31
4.1.5. Titreşimin Etkisi	32
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü.....	32
4.3. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler.....	33
4.3.1. Mikroyapının Etkisi.....	33
4.3.2. Isıl İşlemin Etkisi.....	33
4.3.3. Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	33
4.3.4. Mekanik Özelliklerin Etkisi.....	33
5. LİTERATÜR TARAMASI.....	34
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	36
6.1. Malzemenin Hazırlığı.....	36
6.2. Yaşlandırma İşlemi.....	36
6.3. Mekanik Deneyler.....	37
6.3.1. Sertlik Deneyi.....	38
6.3.2. Çekme Deneyi.....	39
6.4. İşlenebilirlik Deneyleri.....	40
7. DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME.....	43
7.1. Mekanik Deney Sonuçları.....	43
7.1.1. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	43
7.1.2. Çekme Deneyi Sonuçları.....	44
7.2. İşlenebilirlik Deney Sonuçları.....	46
7.2.1. Kesme Kuvvetleri	46
7.2.2. Yüzey Pürüzlülükleri	49
8. SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Saf alüminyumun özellikleri	3
Çizelge 2.2. Alüminyumun imalat şekillerine göre mukavemet özellikleri.....	4
Çizelge 2.3. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması.....	5
Çizelge 2.4. Mekanik işlem alüminyum alaşımlarının gösterimi.....	6
Çizelge 2.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıtım işlem durumları	11
Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması	18
Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan AA6013 ve AA6082'nin kimyasal bileşimi (%).....	36
Çizelge 6.2. İşlenebilirlik deneyi parametreleri.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları ve oranları.....	13
Şekil 3.1. Yaşlanma kademeleri.....	20
Şekil 3.2. Yaşlandırma ısıl işleminde faz diyagramına göre işlem sıcaklıklarının gösterilmesi.....	22
Şekil 3.3. Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti.....	23
Şekil 3.4. Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişimi.....	26
Şekil 3.5. İkinci kademe değişimi.....	26
Şekil 3.6. Yaşlandırma işleminde son kademe yapı değişimi.....	27
Şekil 4.1. İş parçasında kesici takımın ilerlemesi.....	28
Şekil 4.2. Tornamalama işleminde kesme kuvvetleri.....	31
Şekil 6.1. Yaşlandırma işlemi prosedürleri	37
Şekil 6.2. Yaşlandırma deneyinin yapıldığı fırın.....	37
Şekil 6.3. Mikro sertlik numuneleri	38
Şekil 6.4. Metkon marka zımparalama cihazı.....	38
Şekil 6.5. HMV model SHIADZU marka dijital sertlik cihazı.....	38
Şekil 6.6. Çekme çubuğu örneği.....	39
Şekil 6.7. SHIMADZU Autograph AG-IC 100 kN marka çekme cihazı.....	39
Şekil 6.8. Kesme kuvveti deney ölçme setinin şematik gösterim.....	40
Şekil 6.9. Kesme kuvveti ölçme deney düzeneği	41
Şekil 6.10. DMG Alpha 300 CNC torna tezgahı.....	41
Şekil 6.11. Taegutec CCGT 120408 FL K10 kesici uç.....	42
Şekil 6.12. TIME TR-200 Portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	42
Şekil 7.1. AA6082 ve AA6013 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimler	43
Şekil 7.2. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kopma ve akma mukavemeti değerleri	45
Şekil 7.3. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı % uzama değerlerindeki değişim.....	46
Şekil 7.4. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim (F_C) (DoC:0.5 mm).....	48

Şekil 7.5. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim (F_C) (DoC:0.25 mm).....	48
Şekil 7.6. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim (F_C) (DoC:0.1 mm).....	49
Şekil 7.7. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı yüzey pürüzlülük değerleri (R_a) (DoC:0.5mm).....	50

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a :	Kesme derinliği (mm)
f :	Devir başına ilerleme (mm/dev)
F _c :	Esas kesme kuvveti (N)
F _f :	Düşük kesme düzlemi
F _r :	Radyal kuvvet
N _s :	İş parçası dönme yönü
R _a :	Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (μm)
R _v :	Maksimum çukur derinliği (μm)
R _z :	Profilin maksimum yüksekliği (μm)
V :	Hız vektörü
V _c :	Kesme hızı (m/dak)
α :	Katı eriyik madde
β :	Kama açısı
ρ :	Özgül ağırlığı,
ε :	Uzama

KISALTMALAR

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ASA :	Alüminyum standartlar birliği
BUE :	Yığıntı talaş
DIN :	Alman standartlar enstitüsü
FBU :	Flank build up (Yığıntı talaş)
GP :	Guiner ve Preston bölgeler
SAF :	Stabilized aluminium foam
YT :	Yığıntı talaş

1.GİRİŞ

Alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, yüksek korozyon direncine sahip olması ve mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi, şekillendirme ve işleme kolaylığı gibi özelliklere sahip olması birçok farklı sektörde kullanım alanları ortaya çıkarmıştır. Bu sektörlerin başında otomotiv, taşımacılık, havacılık-uzay, elektronik, makine ve imalat sektörleri gelmektedir. Özellikle otomotiv, uzay ve havacılık sektörlerinde hafif olmaları nedeniyle ağırlık azaltılarak yakıt tasarrufu sağlanmasında ve hava kirliliğinin önlenmesinde çok önemli yer tutmaktadır (Florea vd., 2012; Chen vd., 2012; Hayat, 2012; Bakavos ve Prengell, 2010; Siddiqui vd., 2000;).

Alüminyum alaşımlarının önemli özelliklerinden bir diğeri mekanik özelliklerinin geliştirilebilir olmasıdır. Bu alaşımların mekanik özelliklerinin geliştirilmesine bağlı olarak birçok kullanım alanları ortaya çıkmaktadır. Alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde yaşlandırma işlemi oldukça önemlidir. Alüminyum alaşımları içerdikleri alaşım elementlerine göre isimlendirilmektedir. En yaygın kullanım alanlarına sahip alüminyum alaşımlarından birisi de AA6xxx (Alüminyum-Al, Magnezyum-Mg, Silisyum-Si içeren) alaşımlardır. Bu tez çalışmasında, AA6xxx seri alüminyum alaşımlarından AA6013 ve AA6082 serisi alaşımlar üzerinde yaşlandırma işlemine bağlı olarak geliştirilen mekanik özelliklerin işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır

2.ALÜMİNYUM

2.1. Alüminyumun Tarihçesi

Eski Yunanlılar ve Romalıların, alüminyum tuzlarını, boyaların renklerini sabitleştirmede ve kan durdurucu olarak kullandıkları bilinmektedir. Alüm günümüz tıbbında hala kan durdurucu ve damar büzücü olarak kullanılmaktadır. 1827'de Friedrich Wöhler'in, susuz alüminyum klorürü potasyum ile karıştırarak alüminyumu ayrıştıran ilk kişi olduğu bilinirse de alüminyum metali, o tarihten iki sene kadar önce, Danimarkalı bir fizikçi ve kimyacı olan Hans Christian Oersted tarafından saf olmayan bir formda üretilmiştir. Bu nedenle kaynaklarda ve kimya literatüründe Oersted'in adı alüminyumu bulan kişi olarak geçmektedir .1846'da Fransız Henri Saint-Claire Deville ise Wöhler'in metodunu, potasyuma göre daha ucuz olan sodyum kullanarak geliştirmiştir (Şahin , 2001).

1886 yılında, Amerikalı Charles Martin Hall alüminyumun elektrolitik bir işlemle elde edilmesine ilişkin bir patent başvurusunda bulunmuş olup, aynı yıl, Hall'un bu buluşundan tamamen habersiz olmak üzere Fransız Paul Heroult da aynı tekniği Avrupa'da geliştirmiştir. Bu nedenle iki bilim adamının adı verilerek isimlendirilen Hall-Heroult işlemi, günümüzde cevherinden alüminyum elde etmede bütün dünyada kullanılan temel yöntemdir. Üretimi kolaylaştıkça maliyeti ucuzlayan alüminyum metali ilk zamanlar pahallıya mal olmuştur. Öyle ki, ABD'deki Washington anıtının zirvesinin yapımında alüminyum kullanılması kararlaştırılmış ve o tarihte alüminyumun yaklaşık 30 gramının maliyeti bu projede çalışan bir işçinin yevmiyesinin iki katına eşdeğer olmuştur .

Adolf Hitler'in sanayi kalkınmasına verdiği öneme bağlı olarak, yönetime gelişinden hemen sonraki yıllarda Almanya, alüminyum üretiminde dünya lideri olmuştur. Ancak 1942'de, ABD'de yeni hidroelektrik santral projelerinin devreye alınması, ABD'ye Nazi Almanya'sına karşı üstünlük sağlamıştır. Bu üstünlük, dört yıl içinde 60 bin savaş uçağı yapmaya yetecek kadar alüminyum üretimi şeklinde ortaya çıkmıştır (wikipedia).

2.2. Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum hafif metaller grubuna giren ve teknik alanda çok kullanılan bir metaldir. Doğada bileşikler halinde bulunur ve yerkabuğunun % 8'ini oluşturur. Özgül ağırlığı 3.8gr/cm³'den küçük olan elemanlar hafif metaller grubuna girer. Hafif metaller

sınıfında alüminyum, magnezyum, potasyum, lityum ve berilyum bulunur. Alüminyum ise hafiflik sıralamasında magnezyum ve berilyumdan sonra gelir. Hafif metaller arasında alüminyum ve magnezyum en önemlileridir. Ayrıca alaşımlarında mukavemeti önemli miktarda artarken yoğunluğu az miktarda artar. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyona dayanıklılığı, imal kolaylığı ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi alüminyumun önemini gittikçe artırmaktadır. Isı ve ışığı çok iyi yansıtmakta olup, manyetik değildir (Eruslu vd., 2000). Alüminyumun fiziksel özellikleri çok az miktarda olsa bile diğer elementlerin ilavesinden büyük ölçüde etkilenir. Çizelge 2.1’de % 99,95 saflıktaki alüminyumun özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.1. Saf alüminyumun özellikleri (Sun, 1998).

Fiziksel Özellik	Değeri
Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26,97 gr/mol
Kristal yapısı yüzey merkezli kübik (YMK) yoğunluğu	2,7 gr/cm ³
Ergime noktası	660 °C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150 °C–300°C
Buharlaştırma noktası	2450 °C
Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi (%)	6,5
Özgül ısı	0,224 cal/gr (100°C)
Elastisite modülü	72x10 ³ MPa
Poisson oranı	0,33
Kayma modülü	27x10 ³ MPa
Çekme mukavemeti	40-90 MPa
Akma mukavemeti	10-30 MPa
Kopma uzaması %	30-40

Atom numarası 13 olan alüminyum periyodik cetvelin üçüncü grubundadır. Atom çapı 1,43 Å, iyon çapı 0,86 Å ve atom ağırlığı 26,97’dir. Alüminyum diğer metaller gibi elektron dizilişine bağlı olarak bileşik oluşturur. Elektron yapısı incelendiğinde 1s yörüngesinde iki elektronla doymuş K seviyesi ve 2s yörüngesinde iki

elektronla doymuş L seviyesi ile karakterize edilir ve atomun dış M seviyesinde üç elektron bulunur. İki 3s ve biri 3p yörüngesindedir. Bu sebeple alüminyumun değeri üçtür (Yılmaz, 2002).

Alüminyum alaşımlarından bazıları yumuşak çelikle kıyaslanabilecek kadar sağlamdır. Alüminyum sıfır derecenin altında da şekil değiştirme kabiliyetine sahiptir (Eruslu vd., 2000). Alüminyum bükülebilir, haddelenebilir, preslenebilir, çekilebilir, bükülüp uzatılabilir ve rulo haline getirilebilir. Ayrıca kızdırılıp işlenebilir, çekiçle dövülebilir veya kalıptan çekilerek çok büyük şekiller verilebilir (Kaplan, 1990).

Alüminyum ve alaşımlarının mukavemet özellikleri malzemenin saflığına ve imal edilme yöntemlerine göre farklılıklar gösterir. Alüminyumun imalat sekline göre mukavemet özellikleri Çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Alüminyumun imalat şekillerine göre mukavemet özellikleri.

	Döküm Al.	Hadde Al.	Is.İş.Tb.Tut.Al.
Çekme Muk., (kg/ mm ²)	9-12	18-28	7-11
Akma mukç, (kg/mm ²)	3-4	16-24	5-11
Uzama,(%)	18-25	3-5	30-40
Büzülme,(%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (Brinell, BSD)	24-32	45-60	80-95

Alüminyum dinamik dayanıklılığı ve statik dayanıklılığı saf olma derecesine göre değişir. Saf halde dinamik dayanıklılığı, statik dayanıklılığının 0,4-0,5 katıdır (Eruslu vd., 2000).

Alüminyumun havada oksijen ile teması neticesinde, kısa zamanda oksijen ile birleşerek alüminyum oksit (Al₂O₃) oluşturur. Bunun sonucu bütün yüzeyi çok renkli alümin tabakası ile örtülür. Alüminyum bu özellikleri korozyona karşı mukavemetini arttırmaktadır (Eruslu vd.,2000). Oluşan bu oksit tabakası su ile yıkamak suretiyle çıkartılmaz. Alüminyum bu özelliği kullanma sahasını genişletmiştir. Soğuk şekil değiştirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyum saflık derecesi azaldıkça korozyon mukavemeti düşer. Alüminyuma eklenen yabancı elemanlar korozyon mukavemetini azaltmaktadır (Eruslu vd.,2000).

Alüminyum yumuşak bir metaldir ve demirden de üç kat daha hafiftir. Diğer metallerin katılmasıyla alaşımlandırıldığında, yoğunluğu az miktarda artmasına karşın mekanik dayanımında önemli oranda artışlar meydana gelmektedir. Magnezyum ve berilyumdan sonra en hafif metal olan alüminyumun yoğunluğu 2,7g/cm³’dür. Hem sıvı

hem de katı alüminyumun yoğunluğu artan saflık derecesi ile orantılı olarak düşmektedir (Yılmaz, 2002).

Alüminyumun önemli bir özelliği de elektrik iletkenliğidir. İletkenliği bakırın iletkenliğinin %60'ı kadar olmasına karşılık düşük yoğunluğundan dolayı birim kütleye düşen iletkenlik bakımından bakırdan daha yüksek iletkenliğe sahiptir (Yılmaz, 2002). Alüminyumun ısı iletkenliği saflık derecesine bağlı olarak artar. Bu %99,9 alüminyumlu bir metal için 200°C'de 0,5 cal/cms°C ve %99,7 alüminyumlu bir metal için 0,531 cal/cms°C'dir (Yılmaz, 2002). Alüminyumun en önemli ve yaygın olarak kullanılmasını sağlayan özelliklerinden birisi de korozyona karşı yüksek dirence sahip olmasıdır. Kimya ve gıda sanayinde, inşaat sektöründe ve ev eşyalarında bu denli kullanılmasının başlıca nedeni alüminyumun bu özelliğidir. En önemli mekanik özelliği esneklik katsayısıdır. Alüminyumun esneklik katsayısının değeri çeliğinkinin 1/3'üne eşittir. Bu bakımdan çelik yerine alüminyum kullanılacak olan alanlarda esnemenin çeliğe göre üç kat daha fazla olacağı göz önüne alınmalıdır. Alüminyumun bazı özellikleri diğer metallerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.3'de verilmiştir (Yılmaz, 2002).

Çizelge 2.3. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması (Yılmaz,2002).

Özellik	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül ağırlık (g / cm ³)	2,7	8,94	7,87	4,1	1,74
Elektrik direnci(Ohm.mm ² /2).10 ²	2,66	1,68	9,8	6,0	4,46
Isı i (cal/ cm ² /cm°C	0,52	0,92	0,19	0,27	0,37
Isıl genleşme katsayısı (mm/mm°C).).10 ⁻⁵	24	16,7	11,9	33	25,7
Ergime sıcaklığı °C	660	1083	1535	420	651
Yanma ısısı (kcal/kg)	6970	-	1600	1270	6000
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (BHN)	19	25	70	-	-

2.3. Alüminyumun Alaşımları

Alüminyuma katılan alaşım elemanları, mukavemet özelliklerini yükseltir. Başlıca alaşım elemanları: Magnezyum (Mg), manganez (Mn), silisyum (Si), bakır (Cu), çinko (Zn), kursun (Pb), nikel (Ni) ve titanyumdur. Alaşım elemanları, alaşım içinde üç farklı halde bulunur;

1. Alüminyum içinde katı halde eriyebilirler (katı eriyik).
2. Katı halde alüminyumda erimeyip veya sınırlı eriyip mekanik bir karışım teşkil ederler.

3. Alüminyumla veya birbirleriyle metaller arası veya kimyasal bileşik teşkil ederler.

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre dövme ve döküm olarak iki ana alt gruba ayrılabilir. Dövme alaşımlar plastik deformasyon ile şekillendirilen, döküm alaşımlarından oldukça farklı mikroyapı ve kompozisyona sahiptir. Her ana grup, ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlar olmak üzere iki ana alt gruba ayrılır (Askeland,1998).

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında en sık kullanılan standart Alüminyum Standartlar Birliği (ASA) (Aluminium Standard Association) tarafından belirlenen standarttır. Bunun yanında ASTM, DIN 1713, Fransız standartları gibi standartlar kullanılmaktadır. Bu standartların ortak özelliği ise alüminyum alaşımlarının mekanik diğer alaşımları ve döküm alaşımları olmak üzere hepsinde 2 grupta toplanmış olmasıdır (Turhan, 2002).

2.3.1 Alüminyumun mekanik işlem alaşımları

1957 yılında Alüminyum Birliği tarafından geliştirilen simgeleme metodu dört haneli rakamlardan oluşmaktadır. Mekanik işlem alüminyum alaşımlarında en yaygın olarak kullanılan simgeler Çizelge 2.4’te verilmiştir (Turhan, 2002).

Çizelge 2.4. Mekanik işlem alüminyum alaşımlarının gösterimi(Turhan,2002).

Simge	Temel Alaşım Elementi	Faz Durumu
1xxx	Saf Alüminyum(%99 Al)	Tek Fazlı
2xxx	Al-Cu	İki Fazlı
3xxx	Al-Mn	Tek Fazlı
4xxx	Al-Si	İki Fazlı
5xxx	Al-Gg	Tek Fazlı
6xxx	Al-Mg- Si	İki Fazlı
7xxx	Al-Zn	İki Fazlı
8xxx	Diğer elementler	
9xxx	Kullanılmayan dizi	

Dört haneli simgelerin sayısal açıklaması şöyledir: İlk rakam alaşımın hangi temel alaşım elementini içerdiğini gösterir, son iki rakam ise alaşımdaki %99 değerinin noktadan sonraki oranını belirtir. Soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen alaşım elementlerinin sayısını göstermektedir. 1052 simgesini örnek olarak ele alacak olursak alaşımın saf alüminyum ve saflık oranının da en az %99.52 olduğunu belirtir. 2xxx den 8xxx e kadar olan alüminyum alaşımlarında ilk rakam alaşım türünü, ikinci rakam ise

alaşım kompozisyonundaki değişimleri gösterir. Son iki rakam ise değişik alaşımları tanıtmaktadır (Turhan, 2002).

9xxx dizisi üzerinde deneysel çalışmalar yapılan, yeni geliştirilmekte olan alaşımlar için kullanılır. Üretimine geçildiği andan itibaren de 9xxx simgesi bu alışımda alınıp, en uygun gerçek simge verilir. Bu alaşım standart olarak kabul edilinceye kadar dört rakamlı simgesinin önüne bir X konulur (Yılmaz, 2002).

Mekanik işlem alüminyum alaşımları ısıl diğer davranışına göre iki bölüme ayrılır: Isıl işlem uygulanabilenler ve ısıl işlem uygulanamayanlar. Genellikle 2xxx, 4xxx, 6xxx ve 7xxx dizileri ısıl işlemle özellikleri yükseltilebilen alaşımlardır. 3xxx ve 5xxx serilerine ise ısıl işlem uygulanmaz. Isıl işlem uygulanabilen serilerde alaşımın dayanımı, soğuk deformasyonla meydana gelen gerilim mukavemetlenmesi ile arttırılmaktadır (Yılmaz, 2002).

Alüminyum 6XXX serisi alaşımlar, belirli oranlarda magnezyum ve silisyum içermesi nedeni ile Mg₂Si çökeltisi oluştururlar. Bu seri, iyi derecede dayanım ve korozyon direncine sahiptir. AA6061 alaşımı ise, düşük karbon çelikleri ile kıyaslanabilecek akma dayanımına sahip, en yaygın kullanılan alaşımlardan biridir (Altenpohl, 1998; Öz, 2007).

2.3.2. Alüminyumun döküm alaşımları

Alüminyum döküm alaşımlarında da diğer alaşımlarında olduğu gibi dört rakamlı simgeleme kullanılır. Ancak döküm alaşımlarında üçüncü rakamdan sonra bir nokta konulur (Yılmaz, 2002). Burada 1xxx serisi için, ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun noktadan sonraki saflık değerini belirtir. Noktadan sonraki rakam ise döküm şeklini belirtir. Aşağıda ürün şekilleri ve rakamsal karşılıkları verilmiştir.

- 0 – Döküm
- 1 – İngot (Külçe)
- 2 – Modifiye edilmiş ingot

3xxx ile 9xxx arasındaki alaşımlarda ise ikinci ve üçüncü rakamlar yalnızca bir sıralama sayısını oluşturur (Turhan, 2002). Başlıca döküm alaşımları şunlardır; AlCu, AlZnCu, AlCuNi, AlSi, AlSiNi, AlSiMg, AlMg, AlMg, AlMgSi.

2.3.3. Alaşım elementlerinin alüminyuma etkisi

Alüminyum alaşımlarında başlıca kullanılan alaşım elementleri bakır, silisyum, magnezyum, demir, çinko, krom, kalay, manganez, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur.

2.3.3.1. Bakırın etkisi

Bakır alüminyuma sertlik, dayanım, iyi döküm yapılabilme ve işlenebilme kolaylığı gibi özellikler kazandırmaktadır. Alüminyum içinde bakırın %12'ye kadar olan değeri dayanımı artırmaktadır. %12'den fazlası yapıda gevreklik meydana getirir (Yılmaz, 2002). Ancak bakır dövme alaşımlarında %3 ile %5 arasında kullanılır. %5'den fazlası mekanik işleme güçlüklerinin ortaya çıkmasına, elektrik iletkenliği ve korozyon direncinin düşmesine sebep olur (Aydın, 2002). Alüminyum içinde bakır genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği artırmaktadır.

2.3.3.2. Silisyumun etkisi

Alüminyum içerisinde silisyum en fazla % 13 oranında bulunmalıdır. % 13'den fazla silisyum içeren alüminyum alaşımlarının işlenmesi çok zor olmaktadır. Özellikle bakır, nikel ve magnezyum ile birlikte ilave edilirse ısıl işlem görebilen alaşım elde edilir. Fakat bu alaşımların çekme mukavemetleri çok yüksek değildir ve mukavemet artışı silisyum artışı ile orantılıdır (Aydın,2002). Silisyum ilavesi ile alüminyumun akışkanlık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilirlik özelliği sağlanır. Ayrıca sıvı alüminyumun akışkanlığını artırır ve sıcak çatlama eğilimini azaltır. Mekanik özellikler alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekil ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve primer faz yüksek mukavemet verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz ise çekme mukavemetini artırır ama süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür (Sun,1998).

2.3.3.3. Magnezyumun etkisi

Magnezyum, alaşıma yüksek mukavemet, mükemmel korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti kazandırır. Buna karşılık sünekliği azaltır. Ayrıca magnezyumlu alaşımların dökümleri oldukça zordur. % 8'den fazla Mg içeren Al-Mg alaşımları ısıl işleme tabi tutulabilir ve mekanik özellikleri bu şekilde geliştirilebilir. Dövme alaşımlarda % 1 ila % 6 Mg ise şekil verme kolaylığı sağlamak için kullanılır. Genel olarak Mg ilavesi mukavemeti, haddelenebilme kabiliyetini ve işlenebilirliği artırır (Doğan,1989; Sun,1998; Aydın,2002).

2.3.3.4. Demirin etkisi

Demir, alüminyum cevheri içerisinde doğal olarak bulunur. Bazı alaşımların sertlik ve dayanımlarını az miktarda arttırmaktadır. Döküm alaşımların sıcak çatlama eğilimini azaltıcı yönde etki etmektedir (Aydın,2002).Demir alüminyum alaşımlarında tane küçültücü etki gösterir. Ayrıca bazı alüminyum alaşımlarında yüksek sıcaklık mukavemetini artırır (Turhan,2002).

2.3.3.5. Cinkonun etkisi

Alaşımında yer alan çinko alaşımın dökülebilirlik özelliğini düşürmekte, buna karşılık çekme mukavemeti, haddelenebilme ve islenebilme kabiliyetini arttırmaktadır. Yüksek oranda çinko ihtiva eden alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi meydana getirirler. Genellikle magnezyumla birlikte karıştırılarak ilave edildiğinde haddeleme kabiliyetini arttırdığı gibi yüksek çekme ve darbe mukavemeti de kazandırır. Al-Zn alaşımlarında ise % 20'e kadar çinko bulunabilmektedir. Bu alaşımlar genelde uçak sanayinde kullanılan Al-Mg-Zn alaşımları olup Zn ve Mg oranı % 1'den fazladır (Doğan,1989; Sun,1998; Aydın,2002).

2.3.3.6. Manganezin etkisi

Manganez, alüminyum alaşımlarının çekme mukavemetini arttırmaktadır. Yeniden kristalleşme sıcaklığını da korozyon direncine zarar vermeksizin 50-60°C kadar yükseltir (Turhan,2002).

2.3.3.7. Nikelin etkisi

Nikel alüminyum alaşımlarına yüksek sıcaklığa karşı mukavemet ve boyutsal kararlılık sağlamak için ilave edilir (Turhan,2002).

2.3.3.8. Geçiş metallerinin etkisi

Alüminyumda geçiş metalleri krom, titanyum ve zirkonyum vb.'dir. Katı eriyikte bulunan geçiş metalleri alüminyumdaki ana alaşımlandırma elementlerinin dengeli çözünürlüğünü düşürmektedir. Bu nedenle geçiş metalleri katı eriyiğin dayanımını artırmalıdır. Bununla birlikte katı alüminyum eriyiğindeki geçiş metallerinin atom bağlarını güçlendirdiğini ve atomların difüzyon hareketini azalttığını savunan görüşler de vardır. Bu görüşe göre geçiş metalleri eriyiğinin dayanımını artırmalıdır. Ancak alüminyumdaki çinko ve magnezyum katı eriyiğinin dayanımı geçiş metalleriyle alaşımlandırıldığında düştüğünü deneyler göstermiştir. Buna göre çözünürlüğün

artmasını savunan görüş daha doğru çıkmaktadır. Krom ve zirkonyum için de yaklaşık aynı şeyler söylenebilir (Yılmaz,2002).

2.4. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlemler

Alüminyum alaşımlarının dayanımının, aşınma direncinin ve diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan en önemli yöntemlerden biri ısıtıl işlemidir. Endüstri ve diğer uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan ısıtıl işlem yöntemi, yaşlandırma ısıtıl işlemidir. Bu yöntemle, ikinci faz çökeltilerinin mikro yapı içerisinde oluşması sağlanmaktadır. Oluşturulan bu fazlar, sıcaklığa ve zamana bağlı olarak malzemenin sertliğini ve mekanik dayanımını arttırmaktadır (Kaçar vd.,2003).

Alüminyum ile ısıtıl işlem neticesinde sertleşen alüminyum alaşımları arasındaki fark şudur: Alüminyum tavlandıktan sonra mukavemetini bir miktar kaybeder ve yalnız soğuk şekil değiştirme neticesinde sertleşir. Diğer yandan ısıtıl işlem ile sertleşen alüminyum alaşımlarının, belirli sıcaklıklarda belli zaman bekletilerek mukavemeti ve sertliği yükseltilebilir. Bu bekletmeye yaşlandırma ve bu olaya da ayrışma sertleşmesi denilmektedir (Kaplan, 1990). Yaşlandırma belirli sıcaklıkta yapılırsa suni yaşlandırma oda sıcaklığında yapılırsa tabii yaşlandırma adını alır. Bir alüminyum alaşımının ısıtıl işlemle sertleştirilmesi 4 kademe oluşur:

1. Önceden tayin edilen bir sıcaklığa kadar ısıtma.
2. Belirlenen bir sürede bu sıcaklıkta bekletme.
3. Düşük bir sıcaklığa ulaşıncaya kadar hızla su verme.
4. Su vermeye takiben, yaşlandırma veya çökelme sertleşmesi.

Alaşımın ısıtıl işlem görebilir veya pekleştirilebilir olmasına göre ısıtıl işlem tanımlaması T ve H harfleri ile ifade edilir. Diğer tanımlamalar alaşımın tavlandığını (O), çözündürme uygulandığını (W) veya üretildiği şekilde (F) kullanıldığını gösterir. T ve H' yi takip eden numaralar pekleşme miktarını, ısıtıl işlem özelliğini veya alaşımın diğer özel üretim diğer durumunu gösterir (Askeland,1998).

Döküm veya biçimlendirilmek suretiyle elde edilen, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıtıl işlem durumları, ilave edilen bir veya birkaç harf ile tanımlanır. Çizelge 2.5 bu işaretlemeleri ve anlamlarını göstermektedir (Yılmaz,2002).

Çizelge 2.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıtma işlem durumları (Yılmaz, 2002)

Simge	Temel İşlem
F	Fabrikasyondan sonraki halidir. Bu hal; mukavemet veya sertliğini değiştirmek Amacıyla hiçbir ilave işlem yapılmaksızın, imal edildikten sonraki fiziksel yapısını belirtmektir.
O	Tavllanmış, yenilenmiş (yeniden kristalleşmiş) alaşımlar için kullanılır. En yumuşak durumu belirtir.
H	Yeniden kristallenme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan plastik şekillendirme sonucu sertlik ve mukavemetin artışı belirtir.
W	Çözeltiye alma ısıtma işleminden sonraki kalıcı olmayan yapıyı ifade eder. Bu hal doğal yaşlandırmadan ötürü, yaşlanma süresinin verilmesi ile belirtilmiş olur.
T	Isıtma işlem görmüş alaşımlar için kullanılır. Yaşlanma işlemi T harfini izleyen bir rakamla belirtilen işlemlerden sonra elde edilen özelliklere uymayan özellikler söz konusu ise ikinci bir rakam kullanılır.

2.5.Alüminyum Alaşımlarının İşlenebilirliği

İşlenebilirlik bir malzemenin istenilen biçimde, boyutta ve yüzey kalitesinde işlenmesinin kolaylığını veya zorluğunu gösteren bir kavramdır (Stephenson ve Agapiou,2006; Boothroyd ve Knight,2006). Bir malzemenin işlenebilirliğini etkileyen özelliklerin başında malzemenin mekanik özellikleri ve işleme parametreleri sayılabilir. Bunlar malzemenin işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülük değerlerini ve talaş oluşumunu etkilemektedir (Kalpakjian ve Schmid, 2010; Grover, 2010; Black ve Kosher, 2008; Grzesik, 2008).

İşlenebilirlik terimi talaşlı işlemlerde de yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tek boyutlu bir özellik olmayıp karmaşık boyutların oluşturduğu bir sistem özelliğidir (Şahin, 2000). Kesici takım ve iş parçası malzemelerinin, işlem ortamı ve tezgâh ile oluşturduğu talaşlı üretim işlemi, kesme koşullarıyla birlikte iş parçası yüzey kalitesini ve maliyet faktörünü göz önünde tutarak işlenebilirliği belirler (Şahin,2000). İyi işlenebilir bir malzemenin talaşlı işlenmesinde kısa sürede yüksek talaş hacmi ile işlenmesi ve yeni oluşan yüzeyin düşük yüzey pürüzlülüğü göstermesi dolayısıyla kaliteli olması beklenir. Aynı zamanda takım malzemesinin işlem esnasında az aşınması ve böylece uzun ömürlü olması beklenir. İyi işlenebilirlik daima maliyet faktörünü göz önünde tutarak talaşlı işlemin ekonomik olmasını ön görür. İşlenebilirlik adı altında aranan nitelikler, genelde karşıt karakterde olup ilgili kesme operasyonuna bağlı

kalınarak optimum verim alınacak şekilde belirlenir (Şahin, 2000). İşlenebilirlik için önemli kriterler şunlardır:

a) Takım ömrü: Standart kesme koşulları altında, takımın kabul edilebilir bir miktar aşınmasına kadar geçen süre veya bu süre içerisinde kaldırılan talaş hacmi (Vt).

b) Kesme kuvvetleri: Talaslı işlem sürecinde takım üzerine etkili olan kuvvetlerdir (F,Fc, Ft, Fs, Fn)

c) Yüzey kalitesi: Talaslı işlem sonrası is parçası malzemesinin yüzey pürüzlülüğü (Ra,Ry, Rz)

d) Talas oluşumu: Talaslı işlem esnasında is parçası malzemesinden alınan talaş şekli.

Saf alüminyumun işlenmesi, alüminyum alaşımlarının işlenmesinden daha zordur. Saf alüminyumun islenirken uzun tel tel talaşlar çıkar ve bunların aşındırıcı özelliği nedeniyle yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olur (Şahin,2000). Çoğu alüminyum alaşımları, yüksek kesme hızlarında işlendiklerinde, iyi yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü verirler. Genellikle, sertleşmiş ve temperlenmiş alaşımlar, tavlanmış alaşımlardan daha kolay islenir ve daha iyi yüzey meydana getirirler (Şahin,2000). Silisyum içeren alaşımları işlemek daha zordur çünkü talaş kaymadan ziyade, yırtılır ve bu nedenle kötü yüzey elde edilir. Genelde, alüminyum alaşımlarını işlemek için fazla talaş derinliği ve ilerleme miktarıyla soğutma sıvısı da kullanılır. Uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için tornalama, frezeleme ve delme işlemleri yüksek hızlarda yapılır (Şahin,2000).

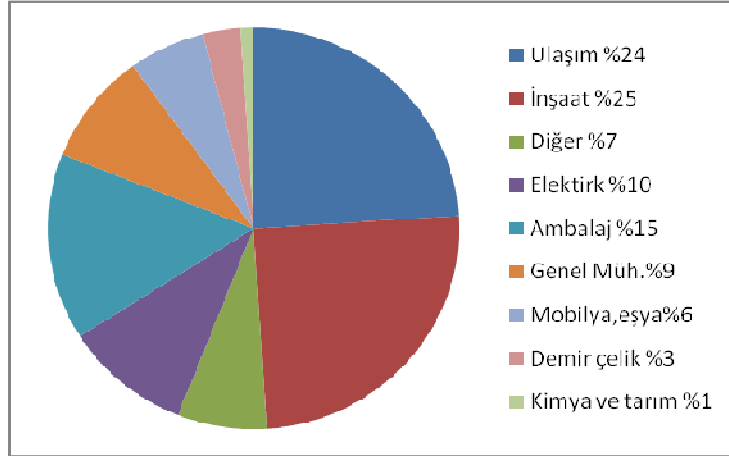
Al alaşımlarının işlenmesinde genellikle kesme kuvvetleri düşüktür, kesme hızı arttırıldığında ise kesme kuvvetleri az miktarda düşmektedir. Ancak düşük hızlarda saf alüminyum işlendiğinde daha yüksek kesme kuvveti meydana gelmektedir. Takım talaş ara yüzeyi temas alanı çok büyük olduğunda, yüksek ilerleme kuvveti (Ff) düşük kayma düzlemi açısına ve çok kalın talaşların oluşmasına yol açmaktadır. Bu da, yüksek kesme kuvveti (Fc) ve fazla güç sarfiyatı ortaya çıkmasına neden olur (Şahin, 2000). Bu etki, alaşım yaparak veya soğuk çekme ile özellikle düşük hızlarda, azaltılır. Genellikle, çoğu alüminyum alaşımlarının (döküm ve çekme alaşımlar), sahip olduğu düşük kayma dayanımlarına rağmen işlenmesi saf alüminyumdan daha kolaydır (Şahin, 2000). Saf Al işlendiğinde talaş sıvanması oluşmaz. Fakat çok yüksek kesme hızı dışında kötü yüzey kalitesi oluşur. Çoğu Al alaşımlarında, birden fazla faz ihtiva

ettiğinden, düşük hızlarda BUE(Built Up Edge) meydana gelir. Yüksek hızlarda ö BUE (Talas yapışması veya sıvanması) oluşmaz. BUE'in oluştuğu yerlerde kesme kuvvetleri düşük, talaşlarının ince fakat yüzey pürüzlülüğü kötü olma ihtimali artmaktadır. BUE elmas takımlar kullanılarak azaltılabilir veya yok edilebilir (Şahin,2000). Alüminyumun işlenebilme problemlerinden birisi ise talaşın kontrol edilmesi olup, bu yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan alüminyumda kırılma öncesi aşırı plastik deformasyona maruz kalmasından kaynaklanmaktadır (Şahin,2000).

2.6. Alüminyum ve Al Alaşımlarının Kullanım Alanları

Kompleks hale gelen üretim yöntemleri, farklılaşan ve çeşitlenen tüketici talepleri, artan nüfus ve üretimle birlikte zaman içinde doğal enerji kaynaklarının sınırlarına hızla yaklaşmakta olduğu bilinci, birçok sektörde bu zamana kadar alışıla geldik üretim yöntem ve hammaddelerinde radikal değişimleri zorunlu kılmıştır. Endüstriyel anlamda kullanılmaya başlanma tarihi yeni olmasına karşın, alüminyum alaşımları üretimde hızlı bir şekilde yer almıştır. (Dündar,2003).

Alüminyum ve alaşımları rekabet etmek zorunda olduğu geleneksel malzemeler ve imalat yöntemleriyle kıyaslamada farklı ölçütlere de ihtiyaç duymaktadır. Spesifik mukavemet, spesifik rijitlik ve şekillendirme esnasında sergilediği süreksiz akma gibi kavramlarla ifade edildiğinde geleneksel malzemelere kıyasla alüminyum alaşımları eşdeğer, kimi zaman da daha üstün performans sergilemektedir. Alüminyumun bu özellikleri otomotiv ve imalat sektörü için tercih sebebi olmaktadır. Taşımacılık sektöründe hafifliğine bağlı olarak yakıt tasarrufu sağlayıp maliyetlerin azaltılması, ulusal ve uluslararası platformlarda taşıt araçlarının emisyon miktarına getirilen düzenlemeler ile taşımacılık sektörü için alüminyumu en iyi alternatif malzeme haline getirmiştir (Dündar, 2003). Şekil 2.1'de sektörlere göre kullanım oranları verilmiştir.



Şekil 2.1. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları ve oranları (Yılmaz, 2003).

Alüminyum hafif bir metal olması nedeniyle otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılmakta olup, kullanımı sürekli artış göstermektedir. Otomobil endüstrisinde radyatörlerin, motor parçalarının, gövde saclarının, yapısal parçaların üretimlerinde alüminyum kullanılmaktadır. Uçaklarda, tren ulaşım sisteminde yük taşıma ve yolcu kompartımanlarının yapımında, gemi sanayinde gemi gövdesinde ve pervanelerin üretiminde alüminyumdan faydalanılır. Yeni kullanım sahası olarak, enerjinin gelecekte daha da değerli olacağı dikkate alındığında alüminyum piller geniş bir uygulama sahası bulacaktır. Alüminyum- sülfür pilleri bu uygulamaların ilk örneklerini oluşturmaktadır. Bu piller ile 250 Wh/kg verimliliğe çıkmak mümkün olmaktadır. Başka bir örnek olarak da alüminyum hava-yakıt pilleri gösterilebilir (Yılmaz,2003).

İnşaat sektöründe alüminyum alaşımlarının estetik amaçlı uygulamaları üretim ve diğer stratejik uygulamalara kıyasla daha uzun bir geçmişe sahiptir. İnşaat sektöründe yüksek teknolojiye gerek duyulmadan ihtiyaçlara karşılık verilebilmiş fakat alüminyumun mukavemet, korozyon özelliklerine göre ve çoğu uygulamalarda her ikisini bir arada olması istenen durumlarda alüminyum sektörü teknoloji ve üretim metodlarında temel çalışmalar yapmak zorunda kalmış ve bu da alaşım geliştirme ve farklı üretim metodlarının gelişimiyle sonuçlanmıştır (Dündar, 2003).

Gıda endüstrisinde nispeten düşük asitliğe sahip sıvıların proses edildiği tank ve iletildiği borular korozyona dayanımlı alüminyum alaşımlarından üretilmektedir. Yine aynı sıvıların ve kimyasalların taşımacılığında benzer alaşımlardan üretilen tanklarla yapılmaktadır. Yakıt tankları, rafinerilerde tankların ve boruların ısı yalıtım elemanları yoğun olarak alüminyum alaşımlarından imal edilmektedir. Alüminyumun homojen

yapısı, ince folyo (alüminyum kağıt) şeklinde üretilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar. Alüminyum folyo, hava ve morötesi ışınları geçirmediğinden, gıdaları doğal renk ve tatları ile korur (Yılmaz, 2003).

Otomotiv endüstrisi, alüminyum dövme parçalar için ana kullanıcıdır. Dövme işlemi uygulanmış ve ısı ile işleme tabi tutulmuş birçok alüminyum alaşımı, çelik ile mukayese edilebilir mekanik özelliklere sahiptir. Örneğin 2014-T6 alaşımının çekme gerilimi 485 MPa'dır ve birçok çeliğin çekme gerilimi değerlerinin üstündedir.

Otomotiv endüstrisinde alüminyumun yeni bir kullanım şekli olarak alüminyum köpük gösterilebilir. Stabilized Aluminum Foam (SAF) olarak isimlendirilen yapı, ergimiş bir alüminyum haznesinden özel yöntemlerle üretilen alüminyum "köpüğün" birçok yolla istenen şekle dönüştürülmesiyle düzlemsel ve 3 boyutlu ürünlerin üretildiği yeni bir malzeme türüdür. Kimi uygulamalarda temel malzeme seramik partiküller içeren metal matris kompozit malzemedir. Partiküllerin eklenmesinin amacı köpük kabarcıklarının stabilizasyonunu sağlayarak kabarcıkların çökmesini engellemektir. Bu yöntem ile üretilen endüstriyel komponentlerin bazı üstün karakteristikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek mekanik enerji sönmeme yeteneği
- Ağırlığına kıyasla çok yüksek mukavemet ve rijitlik
- Farklı sıcaklık ve nem ortamlarında dahi sabit kalan mekanik özellikler
- Geri dönüşümünün mümkün olması
- Çentik etkisine karşı duyarsız olması
- Yüksek akustik ve termal izolasyon özellikleri

Birinci özellik; kazalar ve çarpışma sırasında hasarı en aza indirmek için tüm enerjinin alüminyum köpükten üretilmiş tamponlar ve takviye parçalarında toplanmasında önem kazanır. Aynı zamanda hareket halindeki araçlarda titreşimi minimuma indirmesi hem de rijitlik-ağırlık oranının yüksek olması konstrüksiyon malzemesi olarak tercih edilmesine neden olur. Ayrıca araçların motor kısmında hem ısıya dayanıklı hem de ses ve ısı yalıtkanlığı olan alüminyum köpük potansiyel bir malzemedir. Alüminyum köpük uygulamasının diğer önemli bir kullanım sahası da rijitlik/ağırlık oranının önemli olduğu havacılık sektörüdür. Alüminyum köpükten üretilmiş plaka ve sandviç paneller özellikle çok pahalı olan bal-peteği yapıları kompozit malzemelere alternatif bir malzemedir.

Denizcilikte alüminyum köpük kullanımı yine hafiflik ve korozyon direnci nedeniyle oldukça avantajlı bir malzemedir. Özellikle seri üretim yerine özel üretimin önemli olduğu gemicilik sektöründe alüminyum köpük üretim metodu iyi bir alternatiftir. Alüminyumun en çok kullanıldığı sektör olan inşaat sahasında da alüminyum köpük tercih edilecek bir malzemedir. Binalarda giydirme cephelerde, ara bölmelerde, çatı kaplamalarında iyi bir yalıtım malzemesi olması nedeniyle kullanılmaktadır. Ayrıca ses izolasyonu ve soğurması sayesinde viyadüklerde, otobanlarda ses emici bariyer olarak kullanılmasına başlanmıştır. Hareketli köprülerin ve prefabrik yapıların yapılmasında alüminyum köpük oldukça avantajlı bir malzemedir. Alüminyum köpük endüstriyel uygulamalarda oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Elektronik cihazlarda, makinelerde çok karmaşık şekilli parçaların üretilebilmesi sayesinde yaygın kullanımı olacak bir malzemedir (Yılmaz, 2003).

Deneyisel çalışmada kullanılan 6xxx serisi alüminyum alaşımlar son yıllarda kullanım alanı gittikçe artan alüminyum alaşımlarındandır. Yaslanabilen alüminyum alaşımlarından olan AA6063 alüminyum alaşımının şekillendirilme kabiliyeti yüksek, kaplanabilme özelliği ve ısı işlem özelliği ile mekanik değerleri önemli ölçüde iyidir. Ayrıca bu alaşım genel olarak Al-Mg-Si alaşımıdır. AA 6063 malzemesinin kullanım alanları, inşaat/mimari (cephe kaplama, pencereler, kapılar, dekorasyon, mobilya), otomotiv (iç ve dış gövde panelleri, tampon takviyeleri, koltuk kızıkları), elektrik/elektronik ve makine imalat sektörleridir.

3. YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

Isıl işlem, genel olarak mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirmek amacıyla uygulanan ısıtma ve soğutma işlemine denir (Geçkinli, 2003). Isıl işlem, uygulanan ısıtma ve soğutma sonucunda malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişmesine neden olur. Bu ısıtma ve soğutma işlemleri temel olarak tavlama, çözeltilme, yaşlandırma ve soğuk işlem gibi kademeleri içermekte olup, alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenilen nihai özelliklere göre çeşitlilik gösterir.

Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemleri ile ortaya çıkan özellik değişimleri, çözünme ve belirli alaşım elemanlarının çökmesi ile gerçekleşir. Çökme sertleştirilmesi, aşırı doymuş katı fazdan zaman ve sıcaklık etkisiyle yeni bir fazın çökmesi sonucu malzemenin sertlik ve mukavemetinin artması ile meydana gelir. Çökme sertleşmesi, denge diyagramlarında doyma eğrisi içeren alaşım sistemlerinde ve sadece doyma eğrisinin sınırladığı katı eriyik bileşimlerinde oluşabilir. Yani, alaşım elementinin çözünme miktarı sıcaklıkla artmalıdır. Birçok alüminyum alaşımı doyma eğrisi içermesine rağmen, bazı alaşımların ısıl işlemleri sonucunda mekanik özelliklerinde önemli bir gelişme elde edilemez; bunlara örnek olarak Al-Si ve Al-Mn alaşımları verilebilir (Özer, 2004).

Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarından 2xxx ve 7xxx serisi alaşımlar ile bunlara son yıllarda eklenen Al-Li alaşımları özellikle havacılık endüstrisinde kullanıldığından bu alaşımların ısıl işlemleri teknolojik açıdan önemlidir. Bu alaşımların dayanım, tokluk, yorulma gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra gerilmeli korozyon direnci gibi özellikleri de ön plana çıkmaktadır (Geçkinli, 2003).

Isıl işlemlerin meydana gelebilmesi için temel olarak üç kademe mevcuttur, bunlar sırasıyla; çözeltilme, su verme ve çökme (yaşlandırma) dır. Aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma dığeri sonucunda yapıda çok ince çökelti fazının dağılımı mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için temel kuraldır. Bu çökelti fazının oluşumu, doğal olarak gerçekleşebileceği gibi yapay olarak da yapılabilmektedir. Ancak, genellikle alüminyum alaşımlarında doğal yaşlanma ile mekanik özelliklerde çok etkili bir değişimlik ortaya çıkmaz (Geçkinli, 2003).

Genel olarak dört tür ısıl işlem göstergesi kullanılmaktadır. Bunlardan (O) tavlama; (F) fabrikasyondan sonraki hali; (H) yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki

sıcaklıklarda yapılan plastik şekillendirme sonucu, sertlik ve mukavemetin artışı (T) ısıtıl işlem halini göstermektedir. (W) solüsyona alma ısıtıl işleminden sonraki kalıcı olmayan yapıyı göstermekle beraber, şayet zamanı verilmiş ise o takdirde belirli bir ısıtıl işlem ifade edilmiş olmaktadır.

Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması (Geçkinli,1990).

Temper	Temper Kodu	Açıklama
F		Mekanik veya ısıtıl işlem görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
O		Tavlanmış ve yeniden kristalleşmiş
H	H1x	Soğuk işlem uygulanmış
	H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlanmış (x, farklı sertlikleri ifade etmektedir.)
	H3x	Sadece soğuk işlem uygulanmış ve kararlı
	H4x	Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısıtıl işlemle stabilize edilmiş (x, stabilizasyon sonrası sertleşme işlemini ifade eder.)
W		Çözeltiye alınmış
T		Yaşlandırma işlemini göstermektedir
	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
	T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
	T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
	T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
	T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
	T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş, yapay yaşlandırılmış
	T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış yapay yaşlanmış	

T: T harfi, ısıtma işlemi yapılarak elde edilen temperlemeyi ifade eder. Isıtma işlemlerinin değişik türleri, aşağıdaki harf ve rakam göstergeleriyle ifade edilmektedir.

T1: Sıcak işlemden sonra soğutulur ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T2 : Sıcak işlemden sonra soğutulur, soğuk işlemden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T3: Solüsyona alma ısıtma işlemi uygulanır, soğuk işlemden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T4: Solüsyona alma ısıtma işleminden geçirilir, doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T5: Sıcak işlemden sonra soğutulur ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir.

T6: Solüsyona alma ısıtma işleminden geçirilir ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir.

F: Fabrikasyondan sonra (üretildiği gibi) .Mukavemet veya sertliğini değiştirmek amacıyla hiçbir ilave diğer yapılmaksızın, üretildikten sonraki fiziksel yapısını belirtmektedir. Biçimlendirilen alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin hiçbir garantisi yoktur. Örneğin dökümden çıkmış hali için 43-F notasyonu kullanılmaktadır.

O: Tavlı, yeniden kristalleşmiş; şekillendirilebilen alüminyum alaşımlarının en yumuşak halidir.

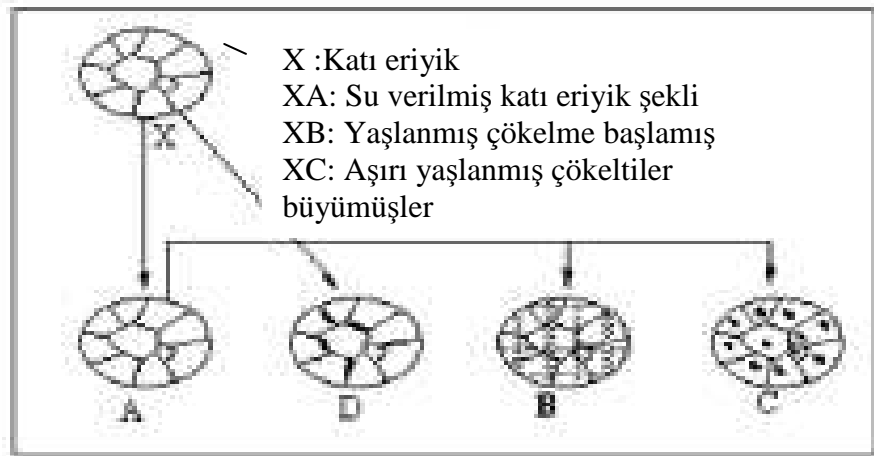
H: Genellikle, yassı ürünler (levha/sac) için kullanılan bir ısıtma işlemi yöntemidir. Soğuk şekillendirme sonucu ve kısmi bir yumuşama elde etmek üzere ilave ısıtma işleminin uygulanıp uygulanmamasına rağmen biçimlendirilebilen alüminyum alaşımlarında elde edilen mukavemet ve sertlik artışını ifade eder. Isıtma işlemi olarak (H) harfinden sonra genellikle iki veya daha fazla rakam vardır. İlk rakam, esas diğerleri ifade eder, daha sonraki rakamlar, plastik şekillendirme sınırları içindeki son fiziksel özelliklerini belirtir.

H1: Plastik şekillendirme sınırları içinde sadece şekil verilmiştir. İkinci rakam, yapılan soğuk işlemi ifade etmektedir. Örneğin; 8 rakamı erişilebilen en sert hali ifade eder. Bu özellik (H18) olarak gösterilir. En sert malzeme ile yumuşak malzeme arasındaki orta sertlik (H14) şeklinde ifade edilir. Aynı şekilde dörtte bir sertlik ise (H12) şeklinde belirtilir. Harflendirme sisteminde kullanılan üçüncü rakam bu diğerlerinden farklı olarak yapılan diğerleri göstermek için kullanılır.

W: Solüsyona alma ısıl işleminden sonraki kalıcı olmayan yapıyı ifade eder. Bu durum doğal yaşlanmadan (natural aging) dolayı, yaşlanma süresinin verilmesi ile belirtilmiş olur. Örneğin 2024 W (1/2 saat), 7075 W (2 ay) vb.

3.1. Yaşlandırma

Aşırı doymuş bir katı fazdan zaman ve sıcaklığın etkisi ile yeni bir fazın meydana gelmesi olayına “yaşlanma olayı” denilmektedir. Burada dikkat edilecek husus, meydana getirilen ikili fazın (üçlü ve daha fazla olabilir), β şeklinde değil de β fazının α fazı içinde hapsedilerek meydana getirilmesi gerektiğidir. Bu durum ise katı hal reaksiyonları sayesinde gerçekleştirilebilir. Aslında esas olarak yaşlanma olayı da bir katı-hal reaksiyonudur. Yaşlanma olayı uygulanabilinen alaşımlarda iyi yönde büyük mekanik özellik değişimleri oluşturur. Şekil 3.1’de yaşlanma kademeleri gösterilmektedir (Tekin, 1984).



Şekil 3.1. Yaşlanma kademeleri (Tekin, 1984).

Yaşlanma ile sertleşme elde etmek için önce katı eriyiğe alma yapılır. Ardından aşırı katı eriyik elde etmek için alaşıma su verilir. Su verme işlemi genel olarak çökelme hızının çok yavaş olduğu bir sıcaklıkta yapılır. Su verdikten sonra çökelmenin çok uzun bir sürede meydana gelmesine engel olmak için alaşım ortalama bir sıcaklığa ısıtılır. Şekil 3.1’de XA ve XB kademeleri yaşlanarak sertleşmeyi göstermektedir. Ayrıntılı incelemeler yaşlanma sertleşmesini şöyle açıklamaktadır: Aşırı doymuş atomlar belli kristal düzlemleri boyunca toplanma eğilimi gösterirler. Örneğin Al-Cu katı eriyiğinde Cu atomlarının toplanması (eriyen atomlar) diğer taraftan Cu yoğunluğunu azaltır, daha az aşırı doymuş ve dolayısıyla daha kararlı bir kristal yapısı oluşturur. Bu durumdaki bakır atomları henüz fark edilecek bir faz yapmamışlardır, hududun iki tarafındaki iki

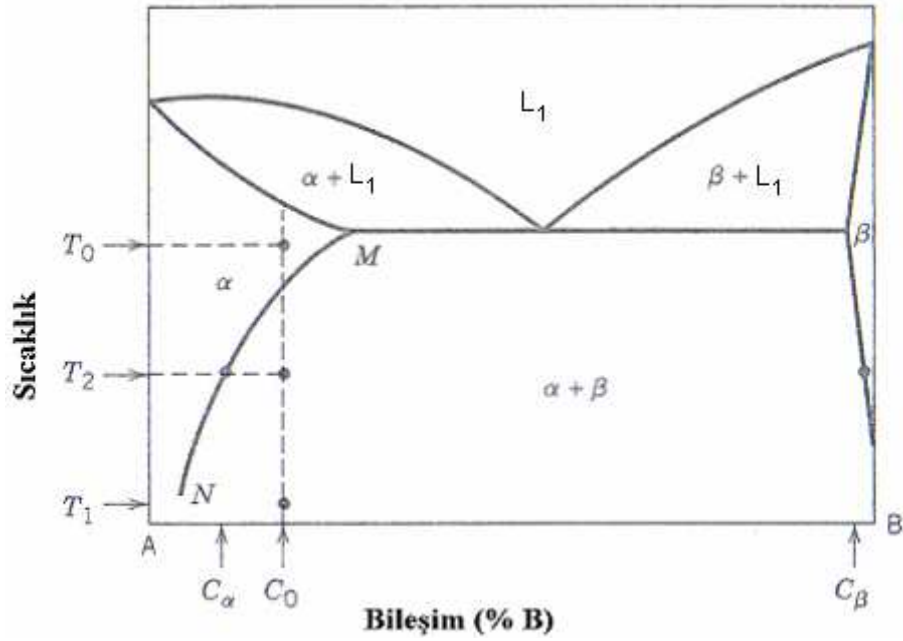
yapı arasında atom bağlaçları vardır. Dislokasyon hareketinin bu düzensiz alanlardan geçmesi zordur. Bu sebeple metal sertleşir dolayısıyla gerilmeler altında deformasyona daha dayanıklı olur. Bölgesel toplama olayı uzun süre devam ederse hakiki bir çökeltme ve aşırı yaşlanma veya yumuşama meydana gelir (Tekin 1984, Dennis 1987).

3.1.1 Çözeltiye alma

Çözeltiye alma işleminin amacı yüksek sıcaklıkta çözünürlüğünün artmasından faydalanılarak yapıdaki bileşik ve çökeltileri tek faz içinde çözündürüp, aşırı doymuş tek fazlı bir katı eriyik elde etmektir. Bunun için yaşlanabilir alaşım, solvüs eğrisinin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta yapıda yer alan II. faz (örneğin; β) α -katı fazı içinde tamamen çözününceye kadar bekletilir. Yapı tamamen α 'ya dönüştükten sonra alaşım aniden soğutulur (Baydoğan,2003).

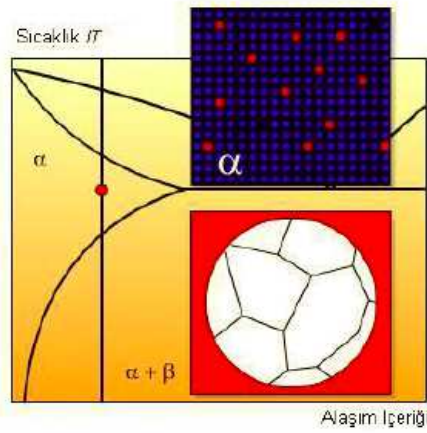
Çözeltiye alma sıcaklığının, çökeltilerin sayısına, boyutuna, morfolojisine ve aynı zamanda tane sınırlarının bileşimine etki ettiği saptanmıştır. Bunun sonucu olarak çözeltiye alma sıcaklığı alaşımın nihai özelliklerine etki etmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, çözeltiye alma sıcaklığı arttığında genellikle akma ve çekme mukavemetinin arttığı, buna karşın gerilmeli korozyon direncinin düştüğü bulunmuştur (Geçkinli, 2003). Çözeltiye alma sıcaklığının yüksek olması durumunda tane sınırlarında çökelti fazlarının oluşması korozyon direncinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olduğu belirtilmiştir (Geçkinli, 2003).

Çözeltiye alma işleminde ötektik başlangıç sıcaklığının asılmamasına dikkat edilmelidir. Sekil 3.2'deki faz diyagramına göre T_0 sıcaklığından daha fazla bir sıcaklık üzerine yani ötektik ergime sıcaklığı üzerine çıkılmamalıdır. Alt sıcaklık değeri ise, katı eriyiğe alma işlemlerinin tamamlandığı sıcaklıktan biraz yüksek olmalıdır. Yani T_0 sıcaklığından daha az bir sıcaklık seçilir. Eğer alaşımın ötektik ergime sıcaklığı aşılsa, tane sınırlarında ergime oluşur ve malzeme kırılgan olur. Eriyebilen elemanların alüminyum içinde katı eriyik halinde kalması için işlem sıcaklığı dikkatli seçilmelidir. Çözünebilen alaşımlarının difüzyonunu engellemek ve tane büyümesine fırsat vermemek için ısıtma hızı yeterli dereceye kadar yüksek olmalıdır (Doğan, 1989).



Sekil 3.2. Yaslandırma ısıl işleminde faz diyagramına göre işlem sıcaklıklarının gösterilmesi (Callister, 2002).

Yapılan araştırmalar sonucunda çözeltilere alma sıcaklığının artmasına bağlı olarak genellikle akma ve çekme mukavemetinin arttığı, buna karşın gerilmeli korozyon direncinin düştüğünü göstermiştir (Geçkinli, 2003). Çözeltilere alma sıcaklığının yüksek olması durumunda tane sınırlarında çökelti fazlarının oluşması korozyon direncinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmuştur. Çözeltilere alma işleminde ısıtma hızı da önem taşımaktadır. Örneğin %4 Cu içeren alüminyum alaşımında yer alan Al_2Cu fazı, yavaş bir şekilde ısıtılarak $500\text{ }^{\circ}C$ e ulaşıldığında tamamen çözünmüş olur. Buna karşılık ısıtma hızlı yapılırsa bu faz yapıda tamamen çözünemez. Bu yapıdaki alaşım, ötektik sıcaklığına veya üzerine ısıtıldığında matris ile Al_2Cu fazının ara yüzeyinde ergime başlar ve alaşım, söz konusu sıcaklıktan ani soğutulursa yapıda ince ötektik rozetleri oluşur. Çözeltilere alma sıcaklığı normalden düşük tutulduğunda ikinci fazın tamamen çözünmesi mümkün olamaz ve malzemedeki sertlik düşer. Şekil 3.3'te çözeltilere alma işlemi sonrasında tek faz halindeki katı çözeltilerin temsili verilmiştir.



Şekil 3.3. Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti.

Çözeltiye alma süresi parçanın kalınlığına bağlıdır. İnce levhalarda süre bir dakikanın altında, büyük döküm parçalarda ise 20 saate kadar olabilir. Genellikle her 25 mm kalınlık için 1 saat süre yeterlidir. Fırın içerisindeki yük miktarı ve sıcak havanın sirkülasyonu da süreye etki eden faktörlerdir. Genellikle parçalar arasındaki aralık en az 50 mm olmalıdır. Karmaşık şekilli ve büyük parçalar için ise mesafenin daha fazla olması gerektiği belirtilmektedir (Geçkinli,2003).

3.1.2 Su verme

Çözeltiye alma işlemi sonrası alaşım yavaş soğumaya bırakılırsa özelliklerini olumsuz yönde etkileyen iri çökeltilerin oluştuğu bilinmektedir (Özer, 2004). Ani soğutma, α içerisinde ikinci fazın çökmesine imkân vermez ve aşırı doymuş α -fazı çökeltisi elde edilir. Bu hali ile α - fazı kararsızdır. Malzeme içerisinde denge halindeki atom boşluklarının miktarı sıcaklıkla üstel olarak artar. Çözeltiye alma işlemi ile birlikte atom boşluklarının miktarı, düşük sıcaklıktaki miktarına kıyasla yüksektir. Bu durumda malzemenin yüksek sıcaklıklardan aniden soğutulması sonucunda denge koşulları sağlanamadığından, atom boşluklarının fazlası yapı içerisinde kalır. Dolayısıyla ani soğuma sonucu yapıda bol miktarda atom boşlukları da oluşur. Bu fazlalık, ani soğutma sonucu oluşan atom boşlukları olarak tanımlanır ve zaman içerisinde yapıdan uzaklaşır. Ani soğutma sonucu oluşan atom boşluklarının fazlası bir araya gelme eğilimi gösterir ve bunların bir kısmı atom boşluğu absorbe ederek dislokasyon halkalarının oluşmasına neden olurlar. Atom boşluklarının fazla olduğu bu bölgeler, çökelti fazının heterojen olarak çekirdeklenmesine müsaittir. Yapıda yer alan fazla atom boşlukları aynı zamanda

düşük sıcaklıklarda yayınma hızının artmasını sağlarlar. Böylece, çökelti fazının hem çekirdeklenme hem de büyüme hızı artar (Geçkinli, 2003).

Su verme işleminin amacı, çözeltiye almada tek faz haline alüminyum içerisindeki alaşımlandırma elementlerinden oluşan aşırı doymuş bir çözelti oluşturmak ve alaşımın çözeltiye alma sıcaklığından hızlı bir şekilde soğutulmasıdır. Eğer alaşım kendiliğinden (yavaş soğuma) soğumaya bırakılırsa, Beta fazı çekirdeklenerek denge halinde bir $\alpha+\beta$ fazı oluşturmak için heterojen olarak çökeler. Ani soğuma α içerisindeki Beta fazının çökmesine imkan vermez ve bu nedenle α fazı artık denge halinden daha fazla katı içermektedir.

Üç farklı su verme metodu mevcuttur. Bu üç metot, istenen özelliklere ve gösterdikleri kolaylıklara göre kullanılır.

Soğuk suda su verme: Alaşımlara soğuk su banyolarında su verilir. Su verme için su sıcaklığı max. 30 °C olmalıdır. Sıcaklık değişimi 10 °C geçmemesi için yeterli hacimde su bulundurulmalıdır. Böyle bir su verme şekli çok etkilidir.

Sıcak suda su verme: Büyük ve kalın kesitli dökme parçalara 75–90 ° C’de hatta kaynar suda, yani 100 ° C’da su verilir. Bu tip su verme, distorsiyonu minimum kılar ve eşit olmayan sıcaklık dağılışımdan doğan çatlama tehlikesi önlenmiş olur. Su vermede kullanılan suyun sıcaklığı malzemenin korozyon mukavemetine büyük ölçüde etki ettiği için dövme alaşımlarda, bu tip su verme usulü kullanılır. Kalın kesitli parçaların korozyon mukavemeti ince kesitli parçalarda olduğu kadar kritik değildir.

Püskürterek Su Verme: Yüksek hızla su püskürtülerek su verme usulü, levhalar ve geniş yüzeyli parçalara tatbik edilir. Bu tip su verme distorsiyonu minimum kılar ve su vermeden dolayı olan çatlamayı önler.

Su verme işleminde genellikle su kullanılmaktadır. Ancak suyun yanı sıra, su verme ortamı olarak glikol-su karışımları, suda çözülebilen polimerik yağlar veya madeni yağlar da kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının ısıl inin yüksek olması sebebiyle, aynı parça ince ve kalın kısımlarda soğuma karakteristikleri farklı olduğu için deformasyonlar görülebilmektedir. Dolayısıyla, bu tür deformasyonları önleyebilmek için, su verme ortamı, bu ortamın sıcaklığı dikkatle seçilmeli gerekli durumlarda ya su verme ortamı karıştırılmalı ya da parça ortam içerisinde hareket ettirilmelidir.

3.1.3. Yaşlandırma (Çökeltme)

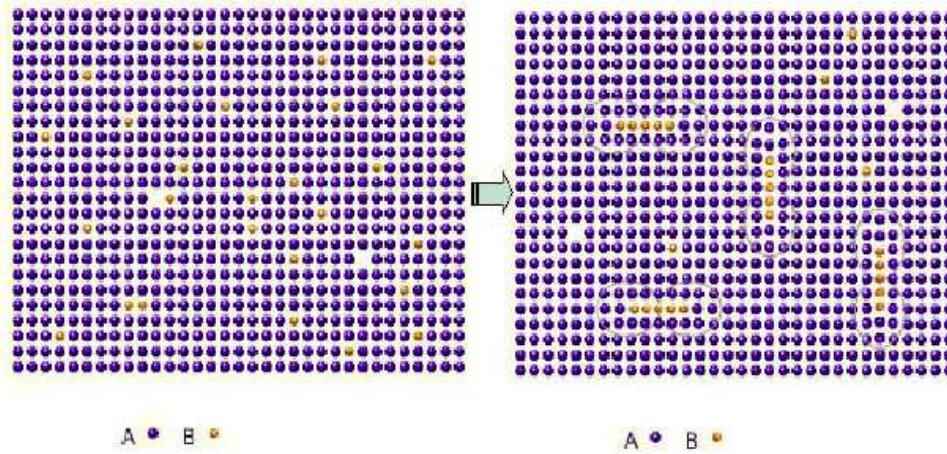
Aşırı doymuş katı çözeltili içerisinde çözünmüş halde bulunan Beta fazı, sıcaklık ve zamanın etkisiyle kararlı bir faz olarak çökeler;

α aşırı doymuş $\rightarrow \alpha + \beta$ çökelti

Bu dönüşüm için, önce β fazının çekirdeklenmesi ve sonra difüzyon ile büyümesi gereklidir. Alaşım eğer ani soğutmadan sonra oda sıcaklığında tutulursa, difüzyon hızı çok yavaş olduğundan β fazı genellikle oluşmaz veya çok uzun sürede oluşur (Geçkinli,1990). Çökeltme, eğer oda sıcaklığında meydana geliyorsa yaşlanma diğeri “doğal”, eğer alaşım yayınma hızını arttırmak için oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa tabi tutuluyorsa “yapay” yaşlandırma olarak adlandırılır. Çökelti fazının oluşumunun anlaşılabilmesi için, 1938’de Guinier ve Preston isimli iki araştırmacı tarafından keşfedilen ve isimlerinin baş harfleri ile adlandırılan GP bölgeleri incelenmelidir.

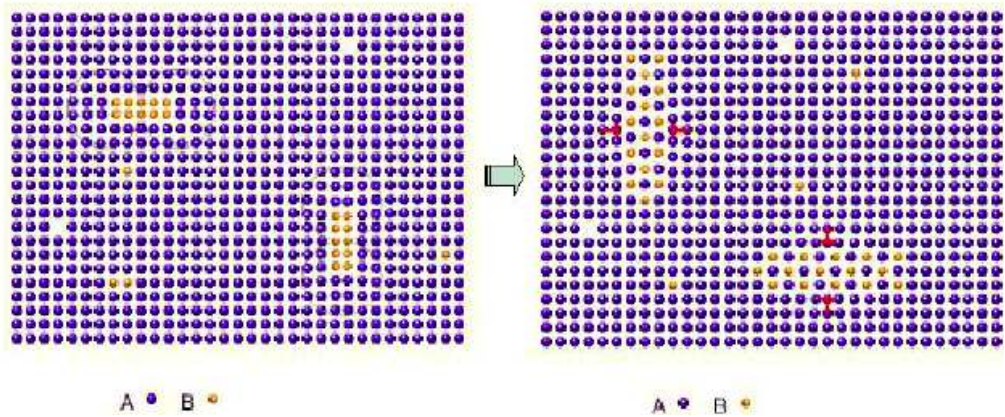
Yaşlanma sırasında aşırı doymuş katı çözeltiden çökelti fazının oluşum aşamaları özetlenecek olursa sırasıyla; Çekirdek \rightarrow Ara Çökelti \rightarrow Kararlı Çökelti şeklindedir. Çökelti oluşumunun ara kademeleri temel olarak alaşımın bileşimine, su verme ve yaşlandırma koşullarına bağlıdır.

Çözelti aşaması sonucunda aşırı doymuş yapı, denge yapısına dönmeye eğilimlidir. Şekil 3.4’de sol tarafta görülen yapı, su verme sonucu A (Al) içerisinde aşırı doymuş B (Mg-Si) katı çözeltili fazını temsil etmektedir (Askelnd,1990). Yaşlandırma işlemi sırasında gerçekleşen difüzyon sonucu B atomları, A latisi içerisindeki spesifik düzlemler üzerinde bölgesel konsantrasyonlar oluşturur (Şekil 3.4’te sağ tarafta görülen yapı). Bu bölgeler GP (Guinier – Preston) bölgeleri olarak adlandırılır. Bazı sistemlerde GP bölgeleri disk, küre veya çubuk şekilli olabilir.



Şekil 3.4. Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişimi(alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>).

Daha sonra GP bölgeleri tutarlı bir ara faz oluşturmak için, çekirdeklenme siteleri oluştururlar. Bu düzlemin etrafındaki A atomları oluşan bu ara fazın ilerlemesi ve yerleşmesi için bozularak bu birleşme işleminden doğan kuvvetin etkisiyle, deformasyona uğrar ve bir yapışma baskısı oluştururlar. Şekil 3.5'te soldaki şema bu olayı göstermektedir. Çökeltiler büyüdükçe, büyümeden kaynaklanan sıkışmanın bir kısmı, ara yüzdeki dislokasyon oluşumları tarafından giderilir. Şekil 3.5'te sağda görülmektedir.



Şekil 3.5. İkinci kademe değişimi(alumatter ,bt, <http://aluminium.matter.org.uk>).

Yaşlandırma işleminin son kademesi denge aşamasıdır. Yeterli yaşlandırma diğeri sonucu en son aşama olarak denge fazı oluşur. Bu faz, ana matristen (A atomları) farklı bir kristal yapısına sahip olup bu faz içerisinde yapışık değildir. Böylece büyümeden kaynaklanan sıkışma elimine edilmiştir. Ancak, matris ve çökelti arasında yeni bir ara faz sınırı vardır. Bu durum Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



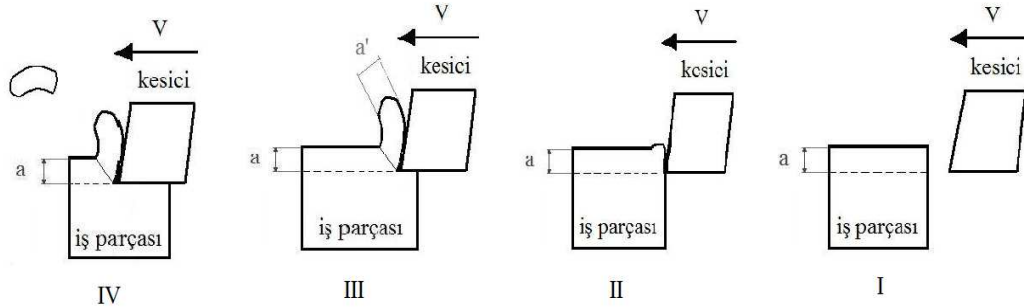
Şekil 3.6.Yaşlandırma işleminde son kademe yapı değişimi (alumatter , bt, <http://aluminium.matter.org.uk>).

Yaşlandırma işleminde sıcaklığın artırılması, ana faz içerisinde çözülmüş olan eriyen atomların ayrışma hızını arttıracaktır; çökelti parçacıklarının oluşumu, teşvik edilen yayınma ile hızlanacaktır. Yaşlanma süresinin artırılması ise sıcaklıkla hızlandırılan yayınmanın devamına fırsat vererek çökelti miktarını arttıracaktır.

4.TALAŞLI ÜRETİM

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takım ile ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde) üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olaylar meydana gelen karmaşık bir fiziksel olaydır (Akkurt ,1996).

Talaş kaldırma işlemleri, genel olarak, tornalama, delme ve delik büyütme, frezeleme, vargelleme/planyalama, testere ile kesme, taşlama ve tığ çekme olarak 7 ana gruba ayrılabilir (Şahin, 2000).



Şekil 4.1. İş parçasında kesici takımın ilerlemesi.

Şekil 4.1 üzerinde işlemler numaralandırılarak talaş oluşumu kısaca şu şekilde açıklanabilir (V kesme hızı (m/min), a kesilmemiş talaş derinliği (mm), a' kesilmiş talaş kalınlığı (mm)) :

- 1.Kesici takım (V) kesme hızıyla iş parçasına yaklaşır.
- 2.Kesici takımın iş parçası temasından sonra, iş parçası farklı mekanik ve termal kuvvetlere maruz kalır. Devam eden kesme işleminde malzemenin akma sınırına gelinir. Bu noktaya kadar yapılan işlemler malzemenin elastik deformasyon bölgesinde olduğundan, bu noktada kesme işlemi durdurulur veya geri çekilirse, malzeme ilk haline geri dönebilir.
- 3.Devam eden kesme diğeri ile malzemenin akma sınırı geçilerek, kalıcı deformasyonların oluşturulduğu plastik davranış bölgesine girilir. Gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında talaş olarak adlandırılan yüzey katmanları, iş

parçası boyunca takımın kesme yüzeyinden kayarak parçadan ayrılır. Bu bölgede kuvvetlerin durdurulması veya geri çekilmesi halinde, malzemenin eski haline dönmesi gibi bir durum söz konusu değildir.

4. Bu işlemlerin süreklilik arz etmesi halinde malzemenin talaş oluşumu meydana gelir.

Talaşlı imalat işlemlerinde talaşlar çok çeşitli olmasına rağmen genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

Sürekli talaş

Süreksiz talaş

Dilimli talaş

Yığıntı talaş (YT/BUE)

4.1. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

Yüksek verimle üretim yapabilmek için üretim esnasında optimum işleme şartlarının sağlanması gerekir. Talaş kaldırma işleminde üç değişken olan; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin takım ömrüne ve talaş kaldırma miktarına önemli etkisi vardır. Talaş kaldırma işlemi; elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme ve ısı oluşumu, talaş oluşumu ve talaş kırılması, iş malzemesi yüzeyinin sertleştirilmesi ve kesici takım ucunun aşınması ve kırılması gibi olayların meydana geldiği karmaşık fiziksel bir olaydır (Akkurt,1996).

4.1.1 Takım geometrisi

Görünürde birbirinden çok farklı olmalarına rağmen, tüm takımlar kesici ve tutturma olmak üzere iki kısımdan meydana gelirler. Keskin uç, ağız veya diş denilen takımların kesici kısmı tüm takımlar için geçerli olmak üzere ortogonal bir tarzda temsil edilebilir. Bu haliyle kama şeklinde olan takımın kesici kısmı, talaşın temas ettiği talaş yüzeyi ve parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzey ile sınırlıdır. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir. Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğru, koordinat sistemi olarak seçilirse, bu koordinat sistemine göre takımın kesme özelliğini tayin eden; dikey doğru ile talaş yüzeyi arasında talaş açısı(g), kesici kısmın kama açısı(b) ve serbest yüzey ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında serbest açı(a) vardır. Ayrıca eğik kesmede takım ağzının kesme hızı doğrultusu ile yaptığı ve eğim açısı(l) denilen bir açı daha vardır. Bu açı dik kesmede 0° dır (Akkurt, 1996). Bu açıların en önemlisi kayma açısı olup, kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasındaki açıdır. Kayma açısı değiştiği zaman talaş kalınlığını değiştirdiği için bunun önemi büyüktür.

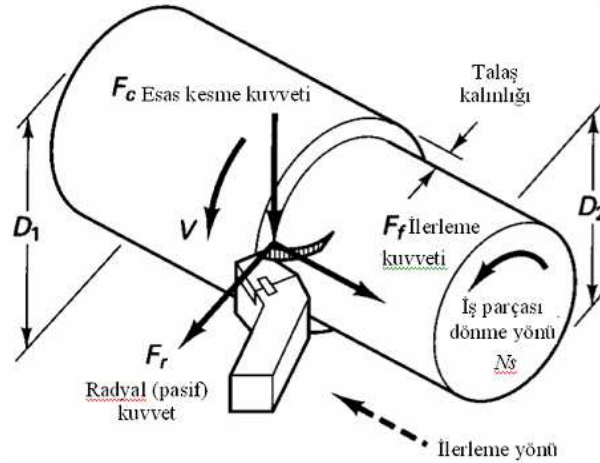
Bu dik kesme işleminde boşluk acısı, kama acısı ve talaş acıları toplamı her zaman 90° olmalıdır.

4.1.2. Kesme hızı

Kesme hızı, talaş kaldırma esnasında, kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yol olup, tornalama ile talaş kaldırma işleminde $V = p.D.n/1000$ (m/dak) olarak ifade edilir. Burada; V: kesme hızı (m/dak), D: işlenecek iş parçası çapı (mm), n: iş parçasını işlemek için kullanılan tezgaha verilmesi gereken devir sayısı (dev/dak)'nı göstermektedir. Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken kesme hızı işlenecek malzemeye, kesici takım malzemesine, talaş derinliğine, ilerleme miktarına, soğutma sıvısına ve tezgah rijitliğine bağlıdır. Kesmede genel kural olarak, ideal kesme şartlarının belirlenmesinde düşünülmesi gereken en önemli faktör, önceki deneylerden yararlanılarak, uygun kesme hızı seçiminin yapılmasıdır. Kesme hızı oldukça düşük seçilirse az parça üretilir ve çok düşük kesme hızlarında takım ucunda, talaş sıvanması meydana gelebilir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılabilir. Ancak, kesme hızı çok yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle her hangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir (Şahin, 2000).

4.1.3. Kesme kuvveti

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır (Trent, 1989; Şeker vd.,2002). Tornalama diğeri esnasında oluşan kuvvetler şekil 4.2 'de şematik olarak gösterilmiştir (DeGarmo vd.,1997).



Şekil 4.2. Tornamalama işleminde kesme kuvvetleri (DeGarmo vd., 1997).

Burada kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

1. Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme değerinde harcanan gücün genelde % 99'una karşılık gelir.

2. İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvettir. Kesme kuvvetinin ekseriyetle yaklaşık %50'si kadardır fakat ilerleme hızının kesme kuvvetiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme değerindeki gerekli gücün çok az bir kısmına karşılık gelir.

3. Radyal kuvvet (F_r): işlenen yüzeye dik etkiyen kuvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır (DeGarmo vd., 1997).

4.1.4. Talaş derinliği ve ilerleme miktarı

Kesme şartlarının değişmesinin etkileri, işlenen bir iş parçası üzerinde olursa; torna tezgâhı işlenecek malzeme için uygun devire ayarlanır. İlerleme miktarı seçilmiş ve genellikle minimum derinlik kabul edilen talaş derinliği, ilerleme miktarının 10 katı kadar seçilir. İşlem yapıldıktan ve takım ömrü belirlendikten sonra her değişken %50 kadar arttırılacak olursa;

- Talaş derinliğinin %50 oranında artırılması halinde takım ömrünü % 15 oranında azaldığı,
- İlerleme miktarının %50 oranında artırılması halinde takım ömrünü % 70 oranında azaldığı,
- Kesme hızının %50 oranında artırılması da takım ömrünü %90 kadar azaldığı,

- Talaş derinliğindeki değişmelerin, takım ömrü üzerine en az etkiye sahip olduğu,
- İlerleme miktarındaki değişmelerin, takım ömrü üzerine talaş derinliğindeki değişikliklerden daha büyük etkisi olduğu,
- Herhangi bir malzemede kesme hızındaki değişikliklerin takım ömrü üzerine hem talaş derinliği hem de ilerleme miktarından daha büyük etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Şahin, 2000).

En uygun ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünöldüğü zaman, mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bunlar takım ömrü üzerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir (Şahin, 2000).

4.1.5. Titreşimin etkisi

Titreşimin kesici takım ömrüne ve işlenen yüzey kalitesine, kesici takım iş parçası arasında sürekli oluşan bir relatif titreşimin mevcut olması nedeniyle, kotu etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında, genellikle, zorlanmış titreşim ve kendiliğinden doğan titreşim olmak üzere iki tur titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim, tezgahın mekanik hareketlerinden dolayı ileri gelirken kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma olayından dolayı meydana gelen titreşimdir. Genelde kendiliğinden doğan titreşim, kesme hızı arttığı zaman kesme kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır.

4.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işleminde, tezgâha girişlerin ve tezgâha dâhil diğer önemli işlemlerle birlikte çıkışlarında dikkate alınması gerekir. Bunlar arasında kesici takım malzemeleri, işlenecek iş parçası, tezgâhın kinematiği, rijitliği ve ekonomikliği sayılabilir. Yüzey pürüzlülüğü ve hassasiyet ürünün son amacını belirlediğinden en önemli çıkış parametreleridir. İmalatta işlenmiş yüzey hassasiyetinin elde edilmesi her zaman önemli çıkış parametrelerinden biri olmaktadır. Yüzey hassasiyeti pek çok parametreyi içine alan bir terim olup, bunlar özetle yüzey bitimi ve çatlaklardan arınma, kimyasal değişme, yanma, dönüşme ve aşırı temperleme şeklinde termal hasar ve kalıcı çekme gerilmesi olarak sayılabilir. Bunlardan son bitirme yüzeyi talaş kaldırma

diğerinde en önemli unsur olup, diğerleri esas olarak taşlanmış yüzeylerle alakalıdır. Malzemelerin işlenmesi esnasında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü de yüzey kalitesini belirleyen parametrelerden biridir. Ayrıca ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı, soğutma sıvısı ve tezgâhın rijitliği gibi parametreler yüzey kalitesini etkileyen başlıca parametrelerdir. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler ;

1. Kesici uç üzerine talaşın yapışması
2. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
3. Takım ve iş parçası arasındaki titreşim
4. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesici kenarda oluşan izler ve aşınma
5. İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinde 100 pm' luk derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler.
6. Talaşın plastik akışı

4.3. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

4.3.1. Mikroyapının etkisi

Metalin işlenebilirliği, mikro-yapısı ile ilgili olup, yapıda sert parçacıkların bulunması kesici takım ömrünü düşürürken, yapıdaki kristaller irileştikçe takım ömrü artar (Şahin,2001).

4.3.2. Isıl işlemin etkisi

Metal veya alaşım tavlınırsa mikro-yapı değişecektir. Çelikte belirli kimyasal ve fiziksel değişiklikler, çeliğin işlenebilirliğini iyileştirir (Şahin,2001).

4.3.3. Alaşım elementlerinin etkisi

Alaşım elementlerinin, takım ömrüne etkisi farklıdır. Karbon miktarı azaldıkça, işlenebilme özelliği düşer. Çünkü süneklik arttığından malzeme, takım ucuna yapışarak körlenmeyi hızlandırmaktadır. Diğer taraftan karbon oranı arttırıldıkça malzemenin sertliği arttığından, takım aşınması hızlanır (Şahin,2001).

4.3.4. Mekanik özelliklerin etkisi

Malzemelerde genelde, sertlik ve kopma dayanımı arasında ilişki bulunmaktadır. Bir malzemenin sertliği ve kopma dayanımı arttıkça, işlenebilme özelliği o derece azalmaktadır (Şahin,2001).

5.LİTERATÜR TARAMASI

Das vd. (2012) çalışmalarında, takım çeliğine karşı AA6082 alüminyum alaşımının aşınma davranışına yaşlanmanın etkisini araştırmışlardır. 40 C’de farklı şartlarda yapılan sürtünme sonuçları benzer olup numune içinde deformasyon miktarı arttıkça aşınma kaybı artmıştır. Döküm halindeki numunelerin aşınması sırasında takım çeliği üzerine yapışma oluşmakta ve sürtünme katsayısı azalmaktadır. Ancak yaşlandırılmış durumda ise küçük aşınma ürünleri oluşumu yüzünden neredeyse sabit sürtünme katsayısı sergilemiştir.

Ding vd.(2012) çalışmalarında, ekstrüzyon AA6005 alüminyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine yaşlandırma süresi ve yaşlandırma sıcaklığının etkisini incelemiştir. Yaşlandırma süresini 4,8 ve 12 saat; yaşlandırma sıcaklığını da 150, 175, 200°C almışlardır. Sonuçta ekstrüzyon prosesi sırasında oluşan iri morfolojiye sahip Al(Fe,Cr)Si partiküllerinin yaşlandırma süresi ve yaşlandırma sıcaklığının artışı ile granül yapıdan çubuk partilere doğru dönüştüğünü ortaya çıkarmışlardır.

Öztürk vd. (2010), tarafından yapılan çalışmada AA6061 alüminyum alaşımının 200°C’de (600 dakikada) yaşlandırma işlemi sonunda maksimum sertlik değerine ulaştığı rapor edilmiştir.

Meyveci vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, AA6063 alaşımına uygulanan yaşlandırma işleminin mekanik özellikleri ve aşınma direncini geliştirdiği rapor edilmiştir.

Tesch vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, AA6013 alaşımının yorulma ve çentik darbe testleri yapılarak çatlak oluşumu araştırılmıştır.

Demir ve Gündüz’ün (2006) çalışmalarında, AA6061 alüminyum alaşımının işlenebilirliğine yaşlandırma işleminin etkisi incelenmiştir. Düşük kesme hızlarında yaşlandırılmış numunelerin kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Barbosa vd. (2006) yaptıkları çalışmada yaşlandırılmış AA6013 ve AA6061 alaşımlarının mekanik özellikleri ve kaynak özelliklerini araştırmıştır. 6013 alaşımında kaynak işleminden sonra mekanik özelliklerde düşüş görülmediği ve kaynak özelliğinin daha iyi olduğu rapor edilmiştir.

Braun (2006) çalışmasında (3–100 saat arasında, 191°C kadar) yaşlandırma işlemi uygulanmış AA6082 alaşımının mekanik özellikleri ile korozyon ve termal

özelliklerini araştırmıştır. Yaşlandırma sonucunda alaşımın mekanik özelliklerinin arttığı rapor edilmiştir.

Graznya Mrowka-Nowotnik vd. (2005), tarafından yapılan çalışmada, AA6005 ve AA6082 alaşımlarının farklı soğuma koşullarında mekanik özelliklerdeki değişimleri incelenmiştir. En yüksek sertlik özelliğinin yağda soğutma ile elde edildiğini rapor etmişlerdir.

Petroyiannis vd. (2004) çalışmalarında, AA6013 alaşımında korozyonun mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Korozyona maruz kalmış alaşımın mekanik özelliklerinin düşmesine neden olduğu rapor etmişlerdir.

Siddiqui vd. (2000) yapmış oldukları çalışmada, yaşlandırma ısıl işlemi parametrelerinin, AA6063 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisi incelemişlerdir. AA 6063 alüminyum alaşımı yaşlandırılarak, yaşlanmanın en tepe noktası (pik noktası) ve aşırı yaşlanma süreci tespit edilmiştir. AA6063 alaşımlı numuneler öncelikle 520°C'de 2 saat solüsyona alınmıştır. Daha sonra yapay yaşlandırma ısıl işlemi dokuz farklı sıcaklık ve yedi farklı sürede gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçları neticesinde, maksimum çekme dayanımı, akma dayanımı ve sertlik değeri içeren uygun yaşlandırma sıcaklığı 175°C ve yaşlandırma süresi olarak 8 ile 10 saat arası olarak ortaya çıkmıştır.

Yapılan çalışmalarda, alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemlerinde alaşımda bulunan Mg ve Si'nin etkisiyle mikro yapıda Mg₂Si intermetalik fazların oluştuğu rapor edilmiştir. Bu fazların oluşması ile alaşımın korozyon direnci ve dayanımının arttığı belirtilmiştir (Zander ve Sandström, 2008; Rafi vd. 2010).

Buradan hareketle yaşlandırma işleminin alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin arttığı bilinmektedir, ancak yaşlandırma işlemi sonucunda artan mekanik özelliklerin işlenebilirliği nasıl etkilediği araştırılması gereken bir konudur.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Literatürde alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin işlenebilirlik üzerine etkisini inceleyen yeterince çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin alaşımın mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimler ile işlenebilirlik özellikleri ve bunlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

6.1. Malzemenin Hazırlığı

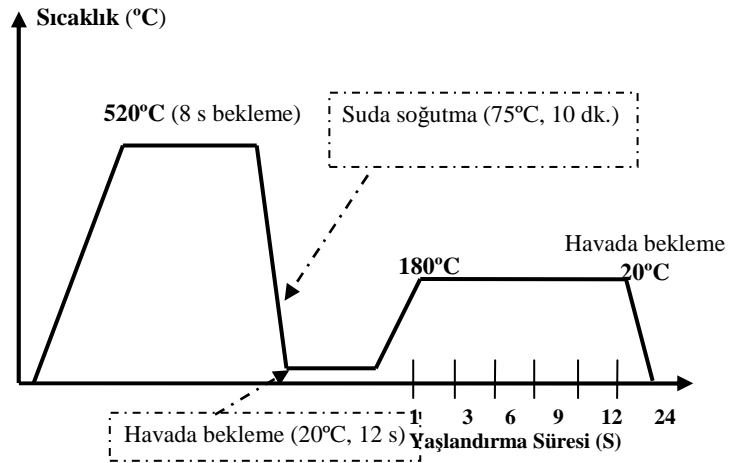
Deneyde kullanılan alüminyum alaşımı numuneler Tuncel Metal AŞ' den temin edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarına daha önceden herhangi bir ısıl işlem uygulanmamıştır. Deneysel çalışmada seçilen yaşlandırma işlemine ilişkin parametreler literatür inceleme sonucunda elde edilen bilgilere göre seçilmiştir (Siddiqui vd., 2000; Demir ve Gündüz,2009). Deneyde kullanılan AA6013 ve AA6082 alaşımlarının kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1 verilmiştir. 24 mm çapında ve 6000 mm uzunluğundaki profil malzeme 120 mm uzunluğunda kesilerek yaşlandırma işlemi için hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan AA6013 ve AA6082'nin kimyasal bileşimi (%).

	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
AA6013	0.5	1.0	0.8	0.5	0.9	0.1	0.1	0.1	Kalan
AA6082	0.3	1.1	0.05	0.3	0.8	0.1	0.1	0.1	Kalan

6.2. Yaşlandırma İşlemi

Deneysel çalışmada, alüminyum alaşımı numunelere farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla, deneyde kullanılan AA6082 ve AA6013 alüminyum alaşımı numunelere 520°C'de ısıl işlem fırınında (8 saat) çözeltiye (solüsyona) alma işleminden sonra sıcak suya atılmış (75°C'de) daha sonra ısıl işlem fırınında (180°C'de) farklı sürelerde (1,3,6,9,12 ve 24 saat) bekletilerek suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak malzemeler havada soğumaya bırakılmıştır. Deneyde kullanılan numunelere Şekil 6.1'de belirtilen sürelerde ve sıcaklıklarda yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.



Şekil 6.1. Yaşlandırma işlemi prosedürleri.

Suni yaşlandırma işlemi Şekil 6.2.'de verilen sıcaklık ve zaman kontrollü ısıtım işlem fırınında (Protherm marka) yapılmıştır. Çözeltiye alma ve sonrasında uygulanan yaşlandırma işlemi; “çökeltme sertleştirme” adı ile bilinmektedir. Numuneler ısıtım işlem fırını içinde özel olarak hazırlanmış raflara yerleştirilmiştir.



Şekil 6.2. Yaşlandırma işlemlerinin yapıldığı fırın.

6.3. Mekanik Deneyler

Deneyde kullanılan sertlik ve çekme deney numuneleri her farklı yaşlandırma süresinde alınan numunelerden seçilerek standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. Her farklı yaşlandırma süresi için en az üç numune seçilerek bu numuneler üzerinde ilgili testler/deney yapılarak veriler elde edilmiştir.

6.3.1. Sertlik deneyi

Sertlik testlerinde kullanılan numunelerin (her farklı yaşlandırma süresinde alınan numuneler 16 mm çapında 10 mm uzunlukta tornalandıktan sonra) yüzeyleri zımparalanarak (200'den 1200 grit'e kadar) temizlenmiş ve parlatılmıştır. Bu numunelerin yüzeylerinde ölçüm yapılarak (10 adet ölçümün aritmetik ortalaması alınarak) sertlik test verileri elde edilmiştir. Sertlik testleri Vickers (HV_1) (Shimadzu HMV-2) test cihazında yapılmıştır. Sertlik değerleri verilerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Şekil 6.3'da numune fotoğrafları, Şekil 6.4'da Metkon marka zımparalama cihazı, Şekil 6.5 'te Shimadzu marka sertlik cihazı görülmektedir.



Şekil 6.3. Mikro sertlik numuneleri.



Şekil 6.4. Metkon marka zımparalama cihazı.



Şekil 6.5. HMV model SHIMADZU marka dijital sertlik cihazı.

6.3.2. Çekme deneyi

Deneyisel çalışmada, yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin kopma mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama miktarına ilişkin mekanik testler yapılmıştır. Mekanik testlerde kullanılan numuneler ASTM-E8 standardına göre (10'ar adet) hazırlanmıştır. Bu numunelerden elde edilen verilerin ortalaması alınarak (her farklı yaşlandırma süresinden 10'ar adet numune), kopma ve akma mukavemeti ve uzama miktarına ilişkin test verileri elde edilmiştir. Bu testler oda sıcaklığında (20°C) 2.5 mm/dk deformasyon hızında (Shimadzu Autograph AGS-J 100 kN Universal Tester) yapılmıştır. Şekil 6.6'da çekme numunesi örneği ve Şekil 6.7'de Shimadzu marka çekme cihazı görülmektedir.



Şekil 6.6. Çekme çubuğu örneği.



Şekil 6.7. SHIMADZU Autograph AG-IC 100 kN marka çekme cihazı.

6.4. İşlenebilirlik Deneyleri

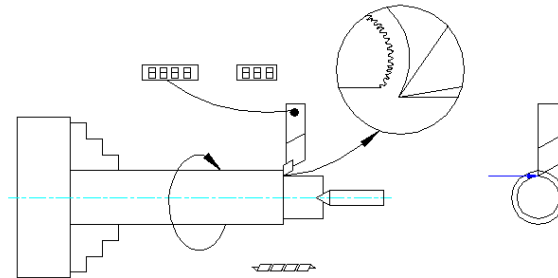
Talaş kaldırma ve yüzey pürüzlülüğü okuma çalışmaları bu başlık altında anlatılacaktır. Bu çalışmada, farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanan alüminyum alaşımı numuneler üzerinde, farklı kesme hızlarında talaş kesiti sabit tutularak kesme kuvvetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir. Uygulamada yaşlandırma süresine bağlı olarak (farklı kesme hızı ve farklı talaş derinliklerinde) kesme kuvvetlerindeki değişimler incelenerek alaşımların işlenebilirliği araştırılmıştır.

Deneyde kullanılan numune yüzeylerinde temizlik talaşı alındıktan sonra (çap 20 mm) kesme kuvvetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir. Deneyde elde edilen kesme kuvvetlerine ilişkin veriler yaşlandırma sürelerine göre sıralanarak grafikler hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan işleme parametreleri Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. İşlenebilirlik deneyi parametreleri

	Talaş Derinliği DoC (mm)	Kesme Hızı V_c (m/dk)	İlerleme hızı (f:mm/dev)	Yaşlandırma Sıcaklığı(°C)	Yaşlandırma Süresi (Saat-S)
AA6013	0.10	60	0.10	180°C	1, 3, 6, 9, 12, 24
AA6082	0.25	120			
	0.50	180			

Kesme kuvvetlerine ait veriler özel olarak tasarımı yapılan straingaje ile elde edilmiştir. Şekil 6.8'de straingaje şematik olarak verilmiştir. Deney düzeneği ise Şekil 6.9'da verilmiştir. Deneyde ilerleme hızı 0.10 mm/dev seçilmiştir.



Şekil 6.8. Kesme kuvveti ölçme deney setinin şematik gösterimi.



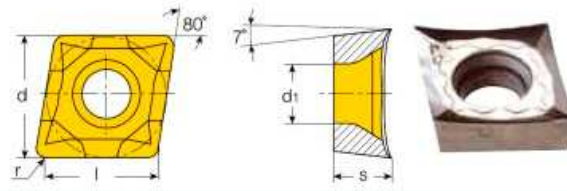
Şekil 6.9. Kesme kuvveti ölçme deney düzeneği.

İşlenebilirlik deneylerinde Şekil 6.10'da gösterilen DMG Alpha 300 CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Kuru işleme koşullarında ve dik işleme yöntemiyle veriler elde edilmiştir.



Şekil 6.10. DMG Alpha 300 CNC torna tezgahı.

Deneylerde Polycrystalline Diamond (PCD) (CCGT 120408 FL K10) kesici uç kullanılmıştır. Şekil 6.11'da kesici uçların geometrisi ve ölçüleri verilmiştir.



Designation	Dimension (mm)					Grade
	l	d	s	r	d1	K10
CCGT 120408 FL	12.0	12.7	4.76	0.8	5.5	●

Şekil 6.11.Taegutec CCGT 120408 FL K10 kesici uç.

Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri (Ra- μm) yüzey pürüzlük ölçüm cihazı (TIME TR200) ile ölçülmüştür. Şekil 6.12'de yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görülmektedir.



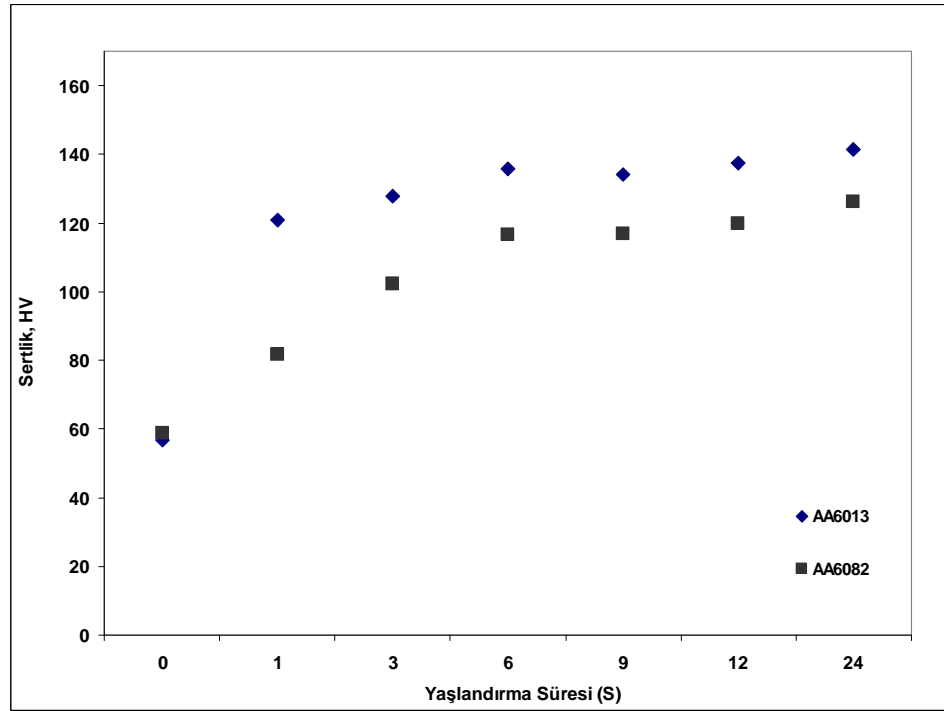
Şekil 6.12.TIME TR-200 Portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

7. DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

7.1. Mekanik Deneysel Sonuçları

7.1.1. Sertlik deneyi sonuçları

Alüminyum alaşımlarına yaşlandırma işlemi uygulanması sonucunda elde edilen sertlik değerleri Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1. AA6082 ve AA6013 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimler.

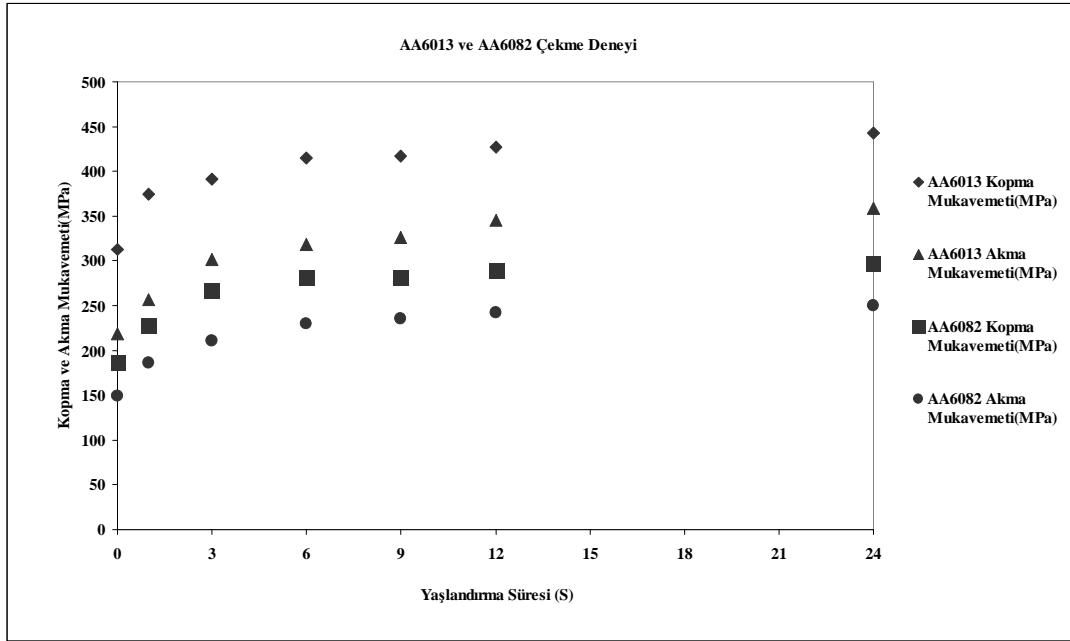
Her iki alaşımda yaşlandırma süresine bağlı olarak sertlik değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Şekil 7.1’de görüldüğü gibi numunelerin aritmetik ortalama sertlik değerleri, yaşlandırılmamış referans numunede AA6082’de $54.2HV_1$, 6 saat yaşlandırılmış numunelerde $116.7HV_1$, 12 saat yaşlandırılmış numunelerde $119.8HV_1$ ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise $126.3HV_1$ olarak ölçülmüştür. AA6013’te yaşlandırılmamış referans numunede $56.7HV_1$, 6 saat yaşlandırılmış numunelerde $135.8HV_1$, 12 saat yaşlandırılmış numunelerde $137.4HV_1$ ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise $141.3HV_1$ olarak ölçülmüştür. Her iki alaşımda yaşlandırılmamış numunenin sertliği 6 saat yaşlandırma sonunda büyük bir artış (2 katın üzerinde) göstermiştir. 6 saat yaşlandırma süresi sonunda elde edilen sertlik değerleri ile 24 saat sonunda ulaşılan sertlik değeri arasında çok büyük fark (~%5) görülmemiştir. Yapılan

çalışma sonucunda alaşımın sertlik değerinin, yaşlandırma süresine bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Yaşlandırma işlemi sonunda alaşımın sertlik artışının mikroyapı içerisinde oluşan fazlar, çökeltme ve tane boyutlarındaki değişim ile açıklanabilir.

7.1.2. Çekme deneyi sonuçları

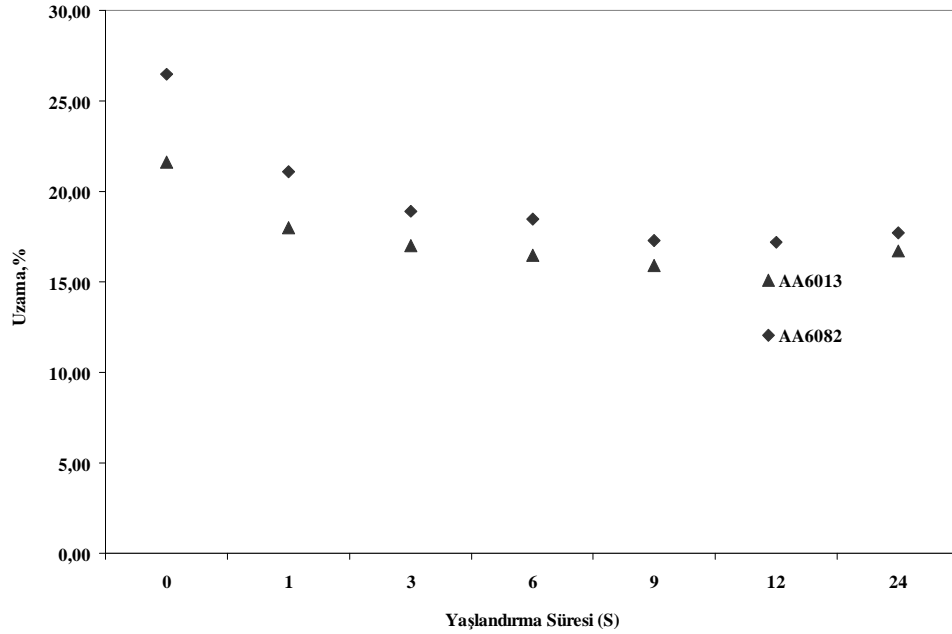
Çalışmada yaşlandırma işlemi uygulanan alüminyum alaşımı numunelerin kopma mukavemetleri, akma mukavemetleri ve % uzama miktarına ilişkin veriler Şekil 7.2’de ve Şekil 7.3’te verilmiştir.

Şekil 7.2’de numunelerin kopma ve akma mukavemeti değerleri incelendiğinde, AA6082’de yaşlandırılmamış referans numunede 185.6MPa kopma mukavemeti ve 148.8MPa akma mukavemeti, 6 saat yaşlandırılmış numunelerde 281.4 kopma mukavemeti ve 232.3 akma mukavemeti, 12 saat yaşlandırılmış numunelerde 288.7 kopma mukavemeti ve 242.4 akma mukavemeti ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 296.8 kopma mukavemeti ve 250.2 akma mukavemeti olarak elde edilmiştir. AA6013’te yaşlandırılmamış referans numunede 312.5 kopma mukavemeti ve 218.7 akma mukavemeti, 6 saat yaşlandırılmış numunelerde 414.7 kopma mukavemeti ve 318.9 akma mukavemeti, 12 saat yaşlandırılmış numunelerde 426.6 kopma mukavemeti ve 344.8 akma mukavemeti ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 445.4 kopma mukavemeti ve 358.9 akma mukavemeti olarak elde edilmiştir. Her iki alaşımında yaşlandırılmamış numunenin kopma ve akma mukavemeti değerlerinde 6 saat yaşlandırma sonunda büyük bir artış görülürken (~%50), 6 saatten sonra ise çok önemli bir artış görülmemiştir. Deneyde, 6 saat yaşlandırma süresi sonunda ulaşılan kopma ve akma mukavemeti değerleri ile 24 saat sonunda ulaşılan değerler arasında çok büyük fark (~%5) gözlenmemiştir. Yaşlandırma sonrası her iki alaşımın tane içerisinde oluşan ince çökeltiler deformasyon sırasında dislokasyonların hareketini güçleştirdiğinden/engellediğinden dolayı mekanik özelliklerde (sertlik, akma ve çekme mukavemetlerinde) artış gözlenmiştir (Mindivan vd.,2005).



Şekil 7.2. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kopma ve akma mukavemeti değerleri.

Şekil 7.3. incelendiğinde deneyde elde edilen en yüksek AA6082 % uzama değeri yaşlandırılmamış referans numunede elde edilirken (%21.6), 6 saat yaşlandırılmış numunede %16.5, 12 saat yaşlandırılmış numunede %15.8 ve 24 saat yaşlandırılmış numunede ise %16.7 olarak ölçülmüştür. AA6013'te en yüksek % uzama (%EL) değeri yaşlandırılmamış referans numunede elde edilirken (%26.5), 6 saat yaşlandırılmış numunede %18.5, 12 saat yaşlandırılmış numunede %17.2 ve 24 saat yaşlandırılmış numunede ise %17.7 olarak ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmada yaşlandırma işlemine tabi tutulan alüminyum alaşımlarında yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak alaşımın kopma ve akma mukavemeti değerleri artarken % uzama miktarında düşüş gözlenmiştir.



Şekil 7.3. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı % uzama değerlerindeki değişim.

Yaşlandırma öncesi AA6013 ve AA6082 alaşımlarının sertlik ve çekme mukavemeti sonuçları (Şekil 7.1-Şekil 7.2’te) hemen hemen aynıdır. Her iki alaşımın bileşim farklılıkları göz önüne alındığında (özellikle AA6013 alaşımında yüksek oranda bakır bulunmasından dolayı, bkz Çizelge 6.2) oluşan çökeltiler de farklıdır. Bu da mekanik özelliklerin artışında etkili olmuştur. Farklı alaşım bileşenleri alaşımlar arasında mekanik özelliklerde farklılığa neden olmuştur. Yaşlandırma işlemine bağlı olarak farklı alaşım bileşenlerine sahip alaşımlar içerisinde oluşan ince çökeltilerin farklılığından dolayı sertlik ve mukavemet sonuçları da farklı olmuştur.

7.2. İşlenebilirlik Deneyi Sonuçları

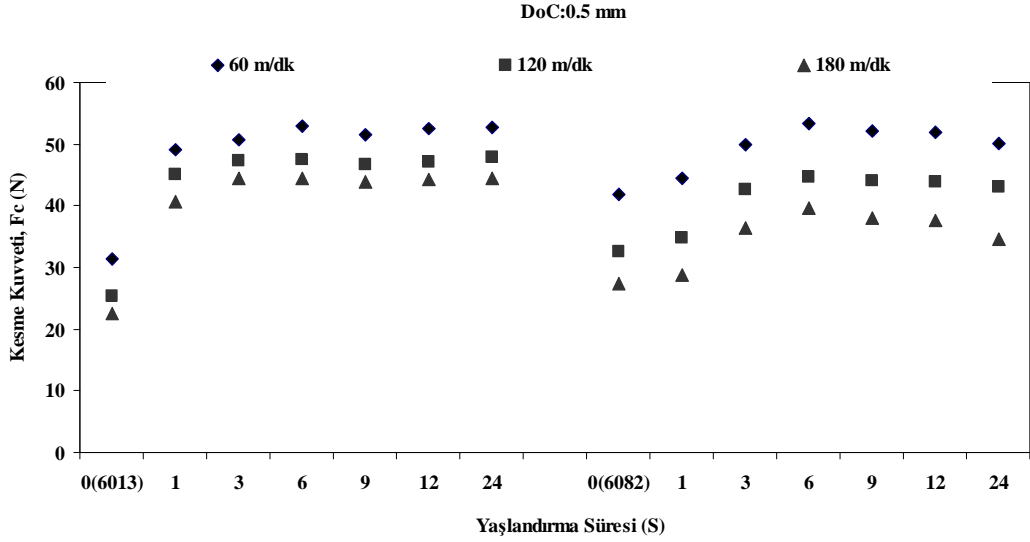
7.2.1. Kesme kuvvetleri

Deneyisel çalışmada, yaşlandırma işlemi uygulanan alüminyum alaşımı numunelerin işlenmesinden elde edilen kesme kuvvetlerine ilişkin veriler Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6’da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak alaşımın kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir. Benzer biçimde talaş derinliğinin artmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri artmıştır.

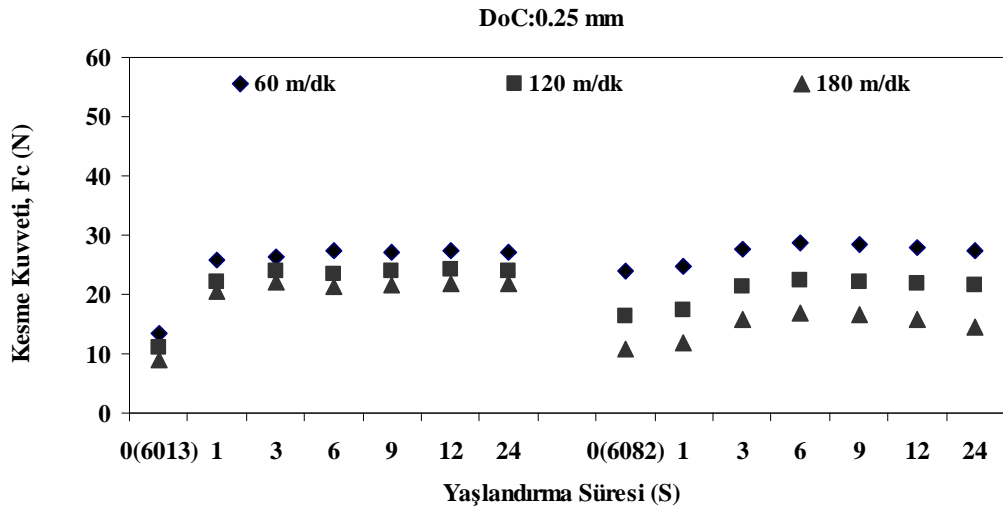
Şekil 7.4'te AA6082 alaşımının yaşlandırma sürelerine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri incelendiğinde en düşük kesme hızında (60 m/dk) (DoC:0.5mm), yaşlandırılmamış referans numunede 41.8N, 6 saat yaşlandırılmış numunede 53.6N, 12 saat yaşlandırılmış numunede 51.9N ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 50.2N olarak ölçülmüştür. Şekil 7.4'te alaşımın 180 m/dk kesme hızında (DoC:0.5mm), yaşlandırılmamış referans numunede 27.4N, 6 saat yaşlandırılmış numunede 39.7N, 12 saat yaşlandırılmış numunede 37.6 N ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 34.7 N olarak ölçülmüştür. AA6013'te kesme kuvvetleri incelendiğinde 60 m/dk kesme hızında (DoC:0.5mm), yaşlandırılmamış referans numunede 31.5N, 6 saat yaşlandırılmış numunede 52.9N, 12 saat yaşlandırılmış numunede 52.6N ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 53.8N olarak ölçülmüştür. Şekil 7.4'te alaşımın 180 m/dk kesme hızında (DoC:0.5mm), yaşlandırılmamış referans numunede 22.5N, 6 saat yaşlandırılmış numunede 44.5N, 12 saat yaşlandırılmış numunede 44.2N ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 52.8N olarak ölçülmüştür.

Yaşlandırılmamış referans numunede elde edilen kesme kuvvetleri ile 6 saat yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerde ölçülen kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında 6 saat sonunda kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 7.4). Öte yandan, 6 saat yaşlandırılmış numunede elde edilen kesme kuvvetleri ile 24 saat yaşlandırılmış numunenin kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında aralarında çok önemli fark gözlenmemiştir. Buradan hareketle 6 saat yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerde en yüksek kesme kuvvetlerine ulaşıldığı söylenebilir. Şekil 7.4-6 incelendiğinde (Şekil 7.4-6; AA6013 ve AA6082 alaşımlarında sırasıyla 0.5 mm, 0.25mm ve 0.1 mm talaş derinliğinde elde edilen kesme kuvvetleri grafiklerini göstermektedir), farklı yaşlandırma işlemi uygulanan bütün numunelerde kesme hızının artması ile birlikte kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlenmiştir (Şekil 7.4-6). Yaşlandırma işlemi uygulanan bütün numunelerde (bütün talaş derinliklerinde) en yüksek kesme kuvveti 60 m/dk kesme hızında oluşurken en düşük kesme kuvveti ise 180 m/dk kesme hızında meydana gelmiştir. Yaşlandırma işlemi uygulanan bütün numunelerde talaş derinliği arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır (Şekil 7.4-6). Bütün talaş derinliklerinde ve bütün kesme hızlarında en yüksek kesme kuvveti 6 saat yaşlandırılmış numunelerde ulaşılmıştır. Buradan hareketle yaşlandırılmamış referans numune ile 6 saat yaşlandırılmış numunelerin işlenebilirliği karşılaştırıldığında 6 saat yaşlandırılmış

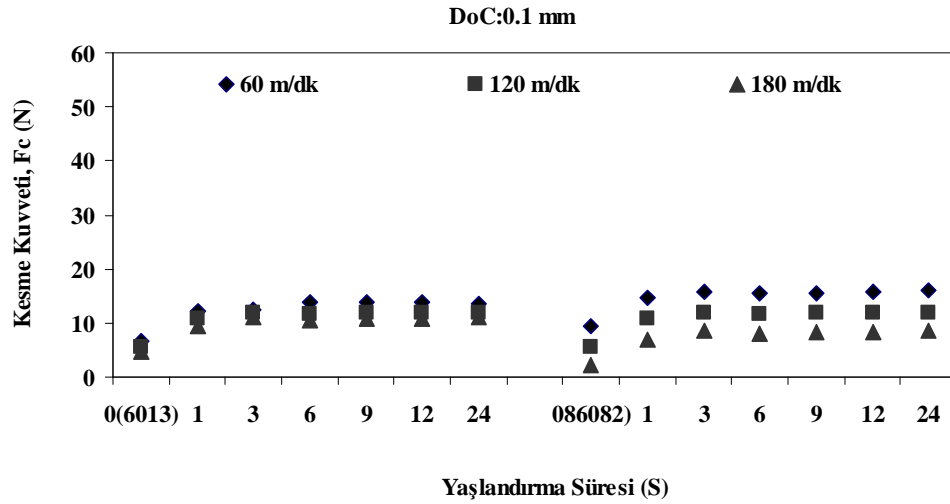
numunelerin işlenebilirliği güçleşmiştir. Öte yandan 6 saat yaşlandırma işlemi uygulanan numuneler ile 24 saat yaşlandırılmış numunelerin işlenebilirliği arasında çok önemli fark gözlenmemiştir.



Şekil 7.4. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim (F_C) (DoC:0.5 mm)



Şekil 7.5. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim (F_C) (DoC:0.25 mm)



Şekil 7.6. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sfirelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim (F_c) (DoC:0.1 mm)

Yapılan deneysel çalışmada AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında, 60 m/dk kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinin 180 m/dk kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinden daha yüksek olduğu görölmüştür (Şekil 7.4-6). Buradan hareketle, bu alaşımlarda düşük kesme hızlarında kesme kuvvetlerinin daha yüksek olmasının nedeni kesme esnasında dislokasyon yığılmasına bağlı çalışma sertleşmesinden (pekleşmeden) kaynaklanmaktadır. Düşük kesme hızlarında (düşük devir sayısında) plastik deformasyona karşı dislokasyonların hareketinin güç olması kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır (Stephenson ve Agapiou, 2006; Grzesik, 2008).

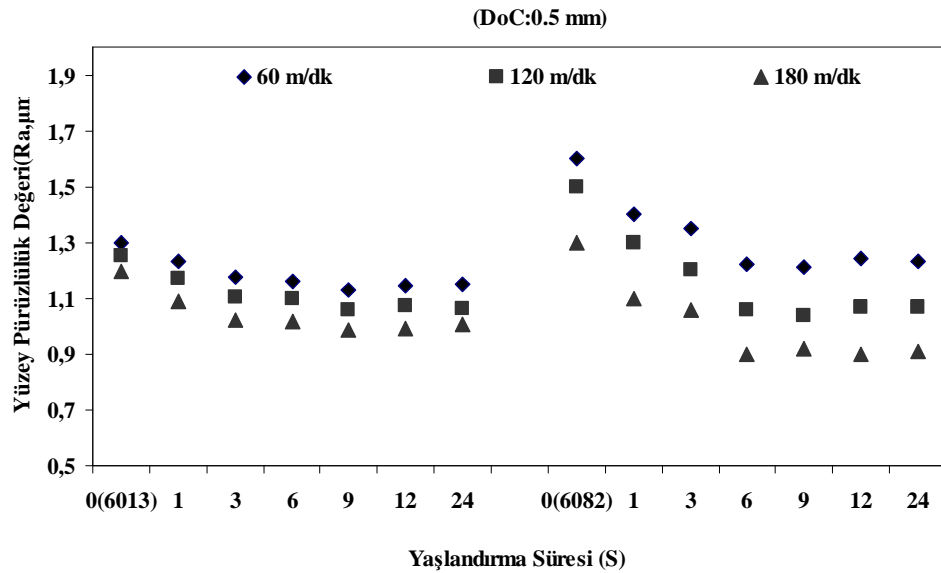
7.2.2 Yüzey pürüzlölükleri

Deneyde işlenen deney numunelerinin yüzeylerinde ölçülen yüzey pürüzlölük değerleri (0,5 mm talaş derinliğinde) Şekil 7.7'de görölmektedir. Bütün yaşlandırma sfirelerinde numunelerin işlenmesinde kesme hızının artması ile yüzey pürüzlölük değerlerinin azaldığı görölmüştür. Bundan dolayı tüm yaşlandırma sfirelerinde en yüksek yüzey pürüzlölük değeri 60 m/dk kesme hızında oluşmuştur. Düşük kesme hızlarında talaşların yığıntı biçimde kesici yüzeyinde yığılması sonucu kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir. Yığıntı talaş meydana geldiğinden bunun da yüzey pürüzlölük değerlerini arttırdığı söylenebilir (Stephenson ve Agapiou, 2006; Grover, 2010). Yüzey pürüzlölük değerleri her iki alaşımda kesme hızı arttıķa Ra değerlerinde

düşüş gözlenmiştir. Her iki alışımda da en kaba yüzey yaşlandırılmamış yüzeylerde elde edilirken en kaliteli yüzeyler en yüksek kesme hızlarında elde edilmiştir.

Düşük kesme hızlarında yığıntı talaşın oluşması ile sürekli talaş meydana gelmekte ve talaşlar sünek kırılma ile oluşmaktadır. Oluşan yığıntı talaş ile yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. Düşük kesme hızlarında talaşların sünek kırılmanın olduğu biçiminde yorumlanabilir (Stephenson ve Agapiou, 2006; Grzesik, 2008).

Kesme hızının artması ve alışımda sertliğinin artması ile daha gevrek bir yapının oluşmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına bağlanabilir. Buradan hareketle yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak giderek gevrekleştiği söylenebilir.



Şekil 7.7 AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı yüzey pürüzlülük değerleri (R_a) (DoC:0.5mm).

Yaşlandırma işlemine bağlı olarak her iki alışımda mekanik özelliklerde farklılık gözlenmiştir. Farklı alaşım bileşenlerine sahip alaşımlar içerisinde yaşlandırma işlemine bağlı olarak oluşan ince çökeltilerin farklılığından dolayı sertlik ve mukavemet sonuçlarında artış ve farklılık olmuştur. Mekanik özelliklerdeki artış ve farklılıklar alaşımların işlenebilirlik özelliklerinde etkili olmuştur.

8. SONUÇLAR

Yapılan bu deneysel çalışmada, AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin alaşımın mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Yaşlandırma işlemi sonunda AA6013 ve AA6082 alaşımlarının sertlik, kopma ve akma mukavemeti gibi mekanik özellikleri yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak artmıştır. Öte yandan, % uzama miktarı yaşlandırma süresindeki artışa bağlı olarak düşmüştür. Her iki alaşımda, 6 saat yaşlandırma süresi sonunda yüksek mekanik özelliklere ulaşılmıştır. 6 saat yaşlandırma sonunda kopma ve akma değerleri ile 24 saat sonunda ulaşılan kopma ve akma değerleri arasında çok büyük fark gözlenmemiştir. Benzer biçimde, sertlik değerlerinde ise, 6 saat yaşlandırma süresi sonunda elde edilen sertlik değerleri ile 24 saat sonunda ulaşılan sertlik değeri arasında çok büyük fark görülmemiştir.
- Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir. En büyük kesme kuvvetleri en düşük kesme hızlarında gerçekleşmiştir. Düşük kesme hızlarında (düşük devir sayısı) kesme kuvvetlerinin yüksek çıkmasının nedeni kesme esnasında dislokasyon yığılmasına bağlı çalışma sertleşmesinden (pekleşme) kaynaklanmaktadır. Bu nedenle 60 m/dk kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinin 180 m/dk kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinden daha yüksek oluşmuştur.
- Yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri arttığından alaşımın işlenebilirliği yaşlandırma süresine bağlı olarak düşüş göstermiştir.
- Talaş derinliği arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır. En büyük kesme kuvvetleri 0.5 mm talaş derinliğinde 60 m/dk kesme hızında meydana gelmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri yaşlandırma süresinin ve kesme hızının artmasına bağlı olarak iyileşmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 1996.
- Askeland, D.R.,” Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt I’ , (Çeviren) Erdoğan, M., **Nobel Kitapevi**, Ankara,1998.
- Altenpohl, D.G., “Aluminium: Technology, Applications, and Environment. The Aluminium”,**Association and The Minerals, Metals Materials, Washington**,1998.
- Aydın, B., “AA2014 Alasımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İslenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı**, Ankara, 2002.
- Barbosa, C., Dille, J., Delplancke, J.L., Rebello, J.M.A.ve Acselrad, O., “A microstructural study of flash welded and aged 6061 and 6013 aluminum alloys”, **Materials Characterization**, 57: 187–192(2006).
- Bakavos, D. ve Prangnell, P.B., “Mechanisms of joint and microstructure formation in high power ultrasonic spot welding 6111 aluminium automotive sheet”, **Materials Science and Engineering**, 527: 6320–6334(2010).
- Baydoğan, M., “ Retregasyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış 2014 ve 7075 kalite alüminyum alaşımlarının mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi”, Doktora tezi **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2003.
- Black, J.T. ve Kohser, R. A., “Materials & Processes in Manufacturing (10th Ed.)”, **John Wiley&Sons, Inc.**,2008.
- Boothroyd, G. ve Knight W. A., “Fundamentals of Machining and Machine Tools, (3rd.Ed.)”, **Taylor&Francis**, 2006.
- Braun, R., “Investigations on the long-term stability of 6013-T6 sheet”, **Materials Characterization**, 56: 85–95(2006).
- Chen, Y.C., Bakavos, D., Gholinia, A. ve Prangnell P.B., “HAZ development and accelerated post-weld natural ageing in ultrasonic spot welding aluminium 6111-T4 automotive sheet”, **Acta Materialia**, 60: 2816–2828(2012)
- Das S., Pelcastre L., Hardell J. ve Prakash B., “Effect of static and dynamic ageing on wear and friction behavior of aluminum 6082 alloy” **Tribology International**, 60: 1-9 (2013).

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Dennis, W., “Demir dışı metallerin metalürjisi”,(Çeviri Editörü) Tulgar H.E., *Akademi LTD. ŞTİ. Yayınları*, New York, 1987.
- Demir, H. ve Gündüz, S. “The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy”, *Materials and Design*, 30: 1480–1483(2009).
- Ding X., Sun J., Ying J., Zhang W., Ma J. ve Wang L., “Influences of aging temperature and time on microstructure and mechanical properties of 6005A aluminum alloy extrusions”, *Transcations of Nonferrous Metals Society Of China, Elsever Science Direct* , 22: 14-20 (2012).
- Dogan, M. , “Alüminyumların Isıl İşlemi”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1989.
- Dündar, M., “ Alüminyumun Yaygın Kullanımı İçin Potansiyel Uygulamalar”, *II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi*, Seydişehir,14-21 (2003).
- Eruslu, N., Altınsoğlu, Y., Taptık, Y., “ Alaşım Ders Notu”, http://www.metalurji.org.tr / dergi/dergi124/d124_0612.html, 2012.
- Florea, R.S., Solanki, K.N., Bammann, D.J., Baird J.C., Jordon J.B., , Castanier M.P., “Resistance spot welding of 6061-T6 aluminum: Failure loads and deformation” *Materials and Design* , 34: 624–630 (2012).
- Geçkinli, E., “Alüminyum Alaşımının Isıl İşlemi”, *2. Isıl İşlem Sempozyumu*, İstanbul, 5-13 (2003).
- Grover, M.P., Principles of Modern Manufacturing (4th Ed.), John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- Grzesik, W., “Advanced Machining Processes of Metallic Materials”, *Elsevier*, UK., 2008.
- Hayat, F., “Effect of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of the similar and dissimilar 6061-T6/7075-T651 RSW joints”, *Materials Science & Engineering*, 556: 834–843(2012).
- Kaçar, H., Atik, E. ve Meriç, C., “The effect of precipitation-hardening conditions on wear behaviours at 2024 aluminium wrought alloy”, *Wear*, 236: 144-152(2003).

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Kalpajian, S. ve Schmid, S.R., “Manufacturing Engineering and Technology”, *Prentice Hall*, New Jersey,USA, 2010.
- Kaplan, H., " The Making of Magnesium", *Light Metal Age* ,18-19 (1990).
- Meyveci A., Karacan I., Çalgülü U. ve Durmuş H., “Pin-on-disc characterization of 2xxx and 6xxx aluminium alloys aged by precipitation age hardening”, *Journal of Alloys and Compounds*, 491: 278–283(2010).
- Mindivan, H., Baydoğan, M., Kayalı, E.S., Çinmenoglu H., “Wear behaviour of 7039 Aluminum alloy”, *Material Characterization*, 54: 263-269(2005).
- Mrowka-Nowotnik, G. ve Sieniawski J., “Influence of heat treatment on the Microstructure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163: 367-372 (2005).
- Öz, Ö., “Yaşlandırma Isıl İşleminin AA 7075 Malzemeli Dikdörtgen Plagın Burkulma Yüğü Üzerine Etkisi.”, Yüksek Lisans Tezi, *Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D.*, Zonguldak, 2007.
- Özer, H.H., “7075 Alaşımında Retrogresyon ve Yeniden Yaşlandırma Isıl İşlemi Sonucu Mekanik Özelliklerin İncelenmesi” , Yüksek Lisans Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2004 .
- Ozturk, F., Sisman, A., Toros, S., Kiliç, S.ve Picu, R.C., “Influence of aging treatment on mechanical properties of 6061 aluminum alloy”, *Materials and Design*, 31:972–975 (2010).
- Petroyiannis, P.V., Kermanidis, Al.Th., Papanikos, P. ve Pantelakis, Sp.G. “Corrosion induced hydrogen embrittlement of 2024 and 6013 aluminum alloys”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 41: 173–183 (2004).
- Rafi, H., Khalid, G.D., Janaki Ram, G., Phanikumar, K. ve Prasad R., “Microstructure and tensile properties of friction welded aluminum alloy AA7075-T6”, *Materials and Design* ,31: 2375–238(2010).

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Siddiqui, R.A., Abdullah, H. ve Al-Belushi, K.R., “Influence of aging parameters on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 102: 234-240(2000).
- Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri 1", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 2000.
- Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri 2", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 2001.
- Sun, Y., “Yaşlanabilir Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 1998.
- Stephenson, D., Agapiou A., S, John, “Metal Cutting Theory and Practice (2.nd Ed.)”, *Taylor&Francis*, 2006.
- Tekin, E., “Demir dışı metaller ve alaşımlarının uygulamalı optik metalografisi 1.baskı” *Sagem*, İstanbul, 1984.
- Tesch, A., Pippan, R., Trautmann, K.H. ve Döker, H., “Short cracks initiated in Al 6013-T6 with the focused ion beam (FIB)-technology”, *International Journal of Fatigue*, 29: 1803–1811(2007).
- Turhan S., “Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi ” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 2002.
- Yılmaz, M., “ Alüminyum Sektöründe Yeni Kullanım Sahaları”, *II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi*, Seydişehir,8-13 (2003).
- Yılmaz B., ‘Alüminyum Alaşımlarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi’ Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta,2002.
- Zander, J., ve Sandström, R., “One parameter model for strength properties of hardenable aluminium alloys”, *Materials and Design*, 29: 1540–1548(2008).
- Matter , “alumatter”,[http:// aluminium.matter.org.uk](http://aluminium.matter.org.uk),2012.
- Wikipedi özgür ansiklopedi, “ Alüminyum”,<http://www.wikipedia.org>, 2012.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Aslı ONUR
Doğum Yeri ve Tarihi : Ordu / 12.05.1985

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri : -

İş Deneyimi

Stajlar : -
Projeler : -
Çalıştığı Kurumlar :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Şehir	Yıl
Planlama Sorumlusu	Demisaş A.Ş.	Bilecik	2011 -2013
Planlama Sorumlusu	Teknosera Tek. Ser. LTD.ŞTİ	Bilecik	2009 – 2011

İletişim

Adres : Ertuğrulgazi Mah. Bağlar Cad.
No:18 Kat: 3 Bilecik / Türkiye
Tel :
E-Posta Adresi : asliiozturk@gmail.com

Tarih

İmza